

Die Jahreszeit als Faktor bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern

gezeigt am Beispiel des schweizerischen Mittellandes

Mit 32 Abbildungen, 12 Tabellen und 10 Bildern

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der Philosophischen Fakultät II der

UNIVERSITÄT ZÜRICH

von

DIETER STEINER

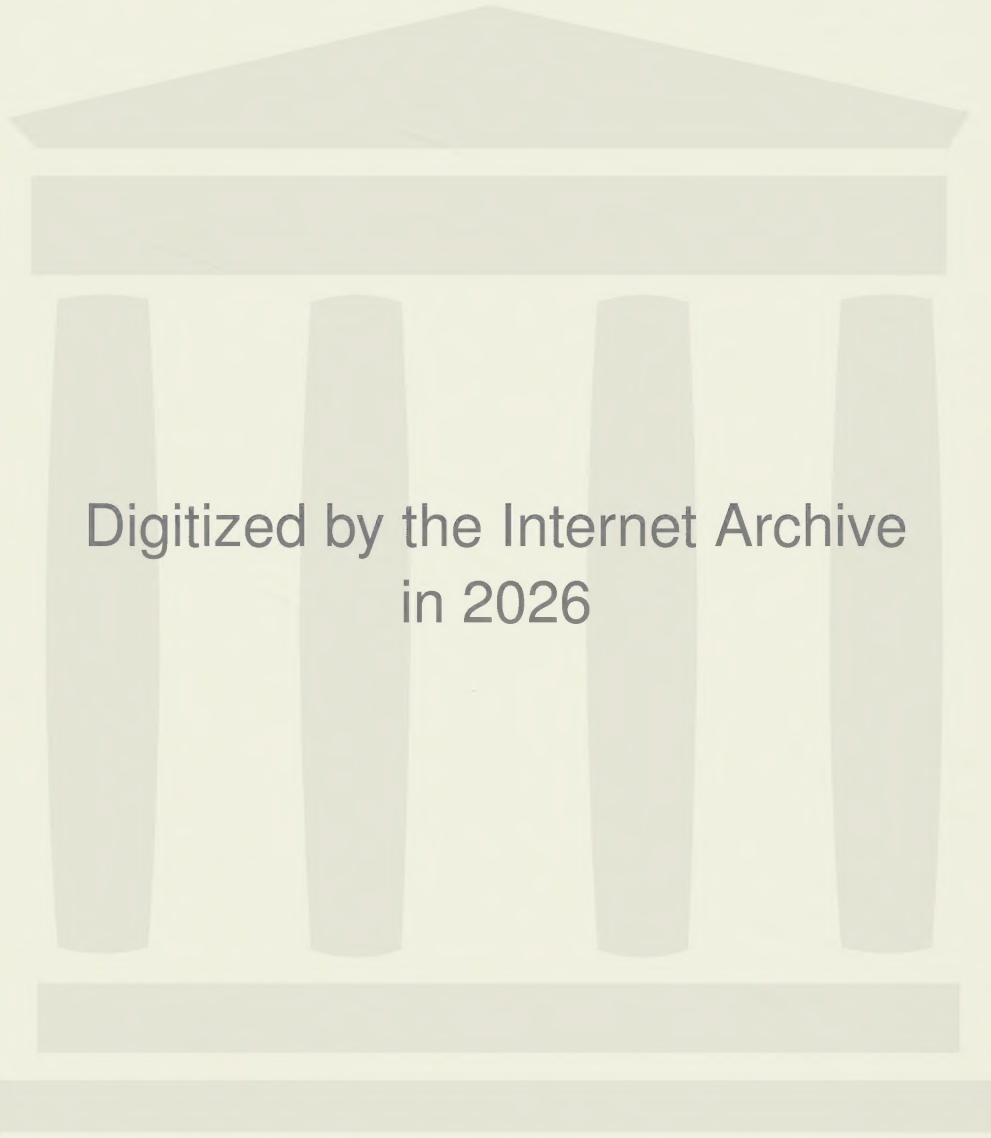
aus Dürrenäsch, Aargau

Begutachtet von Herrn Prof. Dr. Hans Boesch

Zürich 1960

Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung

Bad Godesberg



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507217_0050

LANDESKUNDLICHE LUFTBILDAUSWERTUNG IM MITTELEUROPÄISCHEN RAUM

Schriftenfolge des Instituts für Landeskunde

in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung

In Gemeinschaft mit

H. Bobek, Th. Kraus, W. v. Laer, E. Otremba, C. Troll

herausgegeben von

E. Meynen, H. Müller-Miny und S. Schneider

HEFT 5

Die Jahreszeit als Faktor
bei der Landnutzungsinterpretation
auf panchromatischen Luftbildern

gezeigt am Beispiel des schweizerischen Mittellandes

Mit 32 Abbildungen, 12 Tabellen und 10 Bildern

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der Philosophischen Fakultät II der

UNIVERSITÄT ZÜRICH

von

DIETER STEINER

aus Dürrenäsch, Aargau

Begutachtet von Herrn Prof. Dr. Hans Boesch

Zürich 1960

Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung

Bad Godesberg

Diese Dissertation erscheint in der Schriftenreihe

»Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum« als Heft 5;

Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg.

Zuschriften, die diese Schriftenreihe betreffen,

sind zu richten an Direktor Prof. Dr. E. Meynen, Institut für Landeskunde

in der Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg



INHALT

1. Einführung	9
1.1 Problemstellung	9
1.2 Bisherige Arbeiten zum Thema »Landnutzungsinterpretation von Luftbildern«	11
2. Das verwendete photographische Material und die Landnutzungskartierung im Felde	15
3. Das phänologische Standardschema	17
4. Der Grauton	19
4.1 Definition	19
4.2 Übersicht über die grautonbestimmenden Faktoren	19
4.3 Die Kontrastveränderungen	19
Objekthelligkeiten	20
Luftlicht	21
Negativ-Charakteristik	21
Positiv-Charakteristik	22
4.4 Die Beleuchtungsverteilung in der Brennebene der Kamera	22
Reflexionscharakteristik des Geländes	22
Objektivlichtabfall	22
Schlitzverschluß	23
Andere Faktoren	24
4.5 Die Schwärzungsmessungen und die Schwärzungsmittelwerte	24
Technik der Messung	24
Bildung der Mittelwerte	24
Standardisierung der Mittelwerte	25
Verlauf der Schwärzungskurven während der Vegetationszeit	26
4.6 Die Streuungen der Schwärzungswerte	27
Bildung der Streuungswerte	27
Vereinheitlichung der Streuungswerte	27
Jahreszeitliche Aspekte	28
5. Die Textur	29
5.1 Definition	29
5.2 Die Frage der Systematik	29
5.3 Die Abhängigkeit der Texturqualität von Auflösungsvermögen und Maßstab	30
Auflösungsvermögen	30
Abhängigkeit des Auflösungsvermögens vom Kontrast	31
Maßstabsempfindliche Texturen	31
Maßstabsunempfindliche Texturen	31
5.4 Die Auszählung der Texturen und die Standardisierung der Resultate	31

5.5 Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen	32
Getreide	32
Hackfrüchte i. e. S. (Kartoffeln, Runkelrüben)	33
Raps	34
Wiesen	34
Dauerweide	35
6. Stereoeffekt	37
6.1 Definition	37
6.2 Der Einfluß verschiedener Faktoren auf den Stereoeffekt	37
6.3 Die Bestimmung der Stereoschwelle auf dem untersuchten Photomaterial	38
6.4 Das jahreszeitliche Auftreten des Stereoeffektes	39
7. Die günstigsten Jahreszeiten für die Interpretation der Landnutzung	41
7.1 Die Interpretationsstufen	41
7.2 Die Berechnung der Erfolgsraten	43
Grauton	43
Textur	43
Stereoeffekt	44
Kombination	44
7.3 Die günstigsten Jahreszeiten für die Interpretation	44
Interpretationsstufe 1: Unterscheidung offenes Ackerland/Wiesen	45
Interpretationsstufe 2: Unterscheidung Getreide/Hackfrüchte i. w. S.	46
Interpretationsstufe 2: Unterscheidung Naturwiesen/Kunstwiesen	47
Interpretationsstufe 2: Horizontale und vertikale Kombination	48
Interpretationsstufe 3: Unterscheidung Winter-/Sommergetreide	48
Interpretationsstufe 3: Unterscheidung Hackfrüchte i. e. S./Raps	49
Interpretationsstufe 3: Horizontale und vertikale Kombination	50
Interpretationsstufe 4: Differenzierung der Wintergetreide	51
Interpretationsstufe 4: Differenzierung der Sommergetreide	51
Interpretationsstufe 4: Differenzierung der Hackfrüchte i. e. S.	52
Interpretationsstufe 4: Horizontale und vertikale Kombination	52
Bemerkungen zur direkten Interpretation	53
7.4 Folgerungen und offene Fragen	54
Legende für die den Bildern beigefügten Erläuterungsskizzen	56
Bildteil	57
Datumstabelle	71
Zusammenfassung	73
Summary	73
Résumé	74
Literaturverzeichnis	75
Verzeichnis der Abbildungen	80
Verzeichnis der Tabellen	81
Verzeichnis der Bilder mit erläuternden Skizzen	81

VORWORT

Meine erste nähere Bekanntschaft mit Problemen der Luftbildinterpretation datiert aus dem Jahre 1955, als ich im Rahmen der Diplomarbeit die Aufgabe erhielt, die Verwendungsmöglichkeiten von Luftbildern für wirtschaftsgeographische Untersuchungen im alpinen Gebiet zu studieren. Damals wurde mir die große Bedeutung des Faktors Jahreszeit bei der Interpretation der Landnutzung bewußt. Die Tatsache, daß mir bei jener Arbeit nur sehr wenig photographisches Material zur Verfügung stand, das überdies ein Jahr zuvor aufgenommen worden war, ließ den Wunsch wach werden, die Möglichkeiten der Landnutzungsinterpretation einmal auf viel breiterer Basis zu untersuchen. Die Gelegenheit dazu ergab sich, als Herr Prof. Dr. H. Boesch im Jahre 1957 einen zweijährigen Kontrakt mit der US Army in Frankfurt a. M. abschloß und mich mit der praktischen Durchführung des vorgesehenen Arbeitsprogrammes betraute. Ich erhielt dabei die Möglichkeit, das während dieser Zeit gesammelte Material zur vorliegenden Dissertation zu verarbeiten. Dafür möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Boesch herzlich danken. Dank schulde ich aber auch meiner lieben Frau, die mich bei der ganzen Arbeit, vor allem bei den Feldaufnahmen, tatkräftig unterstützte. Ferner möchte ich meinen Dank auch dem Institut für Landeskunde in Bad Godesberg aussprechen, speziell den Herren Prof. Dr. E. Meynen und Dr. S. Schneider, für die Aufnahme dieser Arbeit in die Schriftenreihe des Instituts und ihre Betreuung bei der Drucklegung. Außerdem gebührt folgenden Personen oder Institutionen mein Dank:

Dem European Research Office, US Department of the Army, Frankfurt a. M., Deutschland, für das Interesse an Problemen der geographischen Luftbildauswertung, das zum Abschluß des Kontraktes führte,

dem Photodienst des Militärflugplatzes Dübendorf (Leitung: Herr Oberst Loepfe) für die Herstellung der Luftaufnahmen und die Überlassung der Negative,

dem Photographischen Institut der ETH, Zürich, speziell Herrn Prof. Dr. J. Eggert, für die Erlaubnis zur Benützung des Densitometers und Herrn K. Pfister für die Hilfe bei der Bearbeitung photographischer Probleme,

Herrn Prof. Dr. H. Kasper, Wild Heerbrugg AG, für Angaben aus der russischen Literatur,

Herrn F. Bock, Photograph, Wild Heerbrugg AG, für die Ausführung von Laborarbeiten,

Herrn Dr. B. Primault, Meteorologische Zentralanstalt, Zürich, für die Erlaubnis zur Einsicht in die gesammelten phänologischen Beobachtungen,

den Herren H. Haefner und H. Zimmermann, Assistenten am Geographischen Institut der Universität Zürich, für die Bewältigung der mühsamen statistischen Berechnungen und für die Ausführung der Graphika,

Herrn A. Dürst, Kartographisches Institut der ETH, für die erste Einführung in die Luftbildinterpretation im Rahmen der Semesterübungen und für viele anregende Diskussionen,

Herrn Dr. D. Brunschweiler, Department of Geography, Michigan State University, East Lansing, USA, für die Überlassung seiner Kartierungen zu den Pfaffhausen-Fällanden-Serien,
verschiedenen Landwirten, die mir bei der Feldarbeit Auskünfte erteilten, so vor allem den Herren H. Lang, Zürich, und A. Hodel, Neu-Walsburg, Luthern (Luzern).

Zürich, im Dezember 1960

Dieter Steiner

1. Einführung

1.1 Problemstellung

Schon seit einer Reihe von Jahren ist das Luftbild zu einem anerkannten Hilfsmittel des Geographen geworden. Es lassen sich mit ihm Art und räumliche Verbreitung verschiedener Landschaftselemente erfassen. Dabei zeichnen vor allem zwei Vorteile die Luftbildinterpretation als Arbeitsmethode aus:

1. Die Vereinfachung terrestrischer Feldarbeit: Die Geländebegehung und -untersuchung konzentriert sich auf ausgewählte Stichproben oder typische Querschnitte (auf die sog. »sample areas« oder »key areas« im englischen Sprachgebrauch). Der Vergleich der Gegebenheiten im Feld mit dem Luftbild führt zu einem Schlüssel und ermöglicht die Interpretation des nicht besuchten Gebietes mit Hilfe von Analogieschlüssen¹⁾.

2. Der Gewinn eines Überblicks: Das Luftbild vermittelt eine Übersicht über das untersuchte Gebiet, die das Erkennen räumlicher Zusammenhänge und die Abgrenzung räumlicher Einheiten wesentlich erleichtert. Unter Umständen bietet es vollkommen neue Aspekte, die dem Auge des Beobachters auf dem Erdboden bisher verborgen waren.

Die agrarische Landnutzung ist eines der Landschaftselemente, das oft Objekt der geographischen Forschung ist, sei es als Hauptteil einer analytischen Arbeit oder als Teilthema einer synthetischen Studie. Speziell für die Aufnahme der Landnutzung aber erweist sich die Luftbildinterpretation als ein sehr brauchbares Hilfsmittel, indem es sich ja darum handelt, vegetationsbedeckte Flächen zu identifizieren, die unmittelbar auf den formalen Aspekt des Luftbildes einwirken. Die Anwendungsbereiche der Luftbildinterpretation bei der Landnutzungsaufnahme können grob in zwei Gruppen geteilt werden, nämlich: Das Luftbild ist wichtig für:

1. Die Erfassung der gegenwärtigen räumlichen Verteilung der Nutzungstypen: Dieses Ziel steht in erster Linie bei der Erstellung von Landnutzungskarten der verschiedensten Maßstäbe im

Vordergrund. Der räumliche Gesichtspunkt kann aber auch bei der Abklärung von Spezialproblemen entscheidend sein, z. B. wenn der Zusammenhang der Verteilung von Nutzungstypen mit natürlichen Gegebenheiten untersucht werden soll²⁾. Ferner ist zu beachten, daß das Luftbild auf dem Wege über die räumliche Kartierung eines Untersuchungsgebietes auch ein Bild über die von verschiedenen Nutzungsarten eingenommenen prozentualen Flächenanteile und damit über die Produktion und die agrarische Wirtschaftsstruktur vermitteln kann. In allen Fällen, in denen keine Nutzungsstatistik besteht, ist die Luftbildinterpretation die einzige Möglichkeit, um mit vernünftigem Aufwand an Arbeit und Zeit eine entsprechende Information zu erhalten. Dem Luftbild kommt deshalb eine hervorragende Bedeutung bei der Landnutzungskartierung in Entwicklungsländern zu. Dies wird durch seine immer intensivere Anwendung gerade in diesen Gebieten im Laufe der letzten Jahre zur Genüge dokumentiert³⁾.

2. Die Feststellung von zeitlichen Verschiebungen in der Nutzungsstruktur: Das Luftbild ist in der Lage, Angaben über rezente und historische Änderungen der Landnutzung zu liefern. Es seien drei Beispiele genannt: Der Vergleich zweier oder mehrerer zeitlich einige Jahre auseinanderliegender Luftbildserien gibt Auskunft über heutige Tendenzen⁴⁾; das Studium von zu günstiger Jahreszeit aufgenommenen Photos ermöglicht oft die Lokalisierung von aufgegebenen Wirtschaftsarealen⁵⁾; bei

¹⁾ Vgl. dazu etwa die theoretischen Gesichtspunkte bei Stone 1956 oder die praktische Anwendung von Robbins 1934.

²⁾ Ein schönes Beispiel dazu ist die Arbeit von Dill 1955, die die Verteilung von Nutzungstypen in Zonen verschiedener Hochwasserhäufigkeit untersucht.

³⁾ Es sei auf die im Abschnitt 1.2 (bisherige Arbeiten zum Thema) aufgezählten Beispiele verwiesen.

⁴⁾ Vgl. etwa Brunt 1959, Dill 1957, 1958 und 1959, Gibbs und Husch 1956, Philpotts 1957 a und b. Auch neben bestehenden Nutzungsstatistiken behält das Luftbild seinen Wert, indem es unter Umständen möglich ist, mit ihm Veränderungen in Zeitabschnitten zu erfassen, die nicht mit den Intervallen des Erscheinens der Statistiken übereinstimmen.

⁵⁾ So hat sich das Luftbild als ein wertvolles Hilfsmittel in der kultur-landschaftsgeschichtlichen Forschung Mittel- und Westeuropas erwiesen (Kartierung alter Flur- und Nutzungssysteme, z. B. mittelalterliche Hochäcker, »celtic fields«, s. z. B. Born 1960, Crawford 1924, Jäger 1960, Mead 1954, Obst 1960, Uhlig 1955 und 1956). In tropischen Räumen können die früher von Wirtschaftsformen verschiedener Art (»shifting cultivation« der Eingeborenen, europäische Pflanzungen) eingenommen und heute aufgegebenen Flächen lokalisiert werden (vgl. Zonneveld 1952 über Surinam).

genügend großem Maßstab, der die Identifizierung der einzelnen Kulturarten gestattet, lassen sich die periodisch eintretenden Veränderungen (Fruchfolge) erfassen⁶⁾. Ganz allgemein, handle es sich um rezente oder historische Veränderungen, ist das Luftbild immer dann unentbehrlich, wenn die Kombination von zeitlichen Verschiebungen mit der räumlichen Verteilung wichtig ist⁷⁾.

Für die Interpretation der Landnutzung von Luftbildern stehen uns prinzipiell zwei Methoden zur Verfügung, die, je nach den regionalen Gegebenheiten, kombiniert oder einzeln zur Anwendung gelangen, nämlich:

1. Die Landnutzungsinterpretation auf Grund der Physiognomie des Vegetationskleides im Luftbild: Es handelt sich dabei um ein Arbeiten mit den im photographischen Abbild wiedergegebenen Merkmalen der Nutzungseinheiten, wie Form, Größe, Grauton, Textur, Stereoeffekt und assoziativen Elementen, die wir mit Havemann 1937 als Indikatoren bezeichnen möchten. Es ist dies somit eine direkte Methode, die Photo-Identifizierung (»photo-identification«, s. Boon, Buringh, Revertera, Veenenbos und Verstappen 1960) genannt werden kann⁸⁾.

2. Die Interpretation auf Grund der Abhängigkeit der Nutzungstypen von natürlichen Faktoren: Es wird dabei von der Tatsache ausgegangen, daß verschiedene Landschaftselemente (Untergrund – Boden – Relief – Vegetation, resp. Landnutzung) insofern eine Korrelation aufweisen, als sie häufig in charakteristischer qualitativer Kombination innerhalb bestimmter räumlicher Einheiten auftreten. Diese Methode setzt eingehende Kenntnisse des lokalen »Landschaftshaushaltes« voraus und beruht auf der Auswertung von Fakten, die im Luftbild zu großen Teilen nicht direkt ersichtlich sind (»photo-deduction«, s. Boon, Buringh, Revertera, Veenenbos und Verstappen 1960). Dieses Korrelationsprinzip, auf dessen Wichtigkeit für die Luftbildinterpretation schon Troll ver-

schiedentlich (1939 und 1943) hingewiesen hat, kommt zu seiner vollen Bedeutung bei Kartierungen zum Zwecke der Landnutzungsplanung⁹⁾. Es kann aber ohne Zweifel auch in vielen Fällen von Nutzen sein, wenn der Typ der gegenwärtigen Nutzung nicht identifiziert werden kann¹⁰⁾. Die Korrelationsmethode ist natürlich in erster Linie in Gebieten mit noch extensiver Nutzung brauchbar, während man sich in intensiv bewirtschafteten Regionen, wo der Mensch mit Hilfe moderner Anbautechniken von der Natur weitgehend unabhängig geworden ist, oft ausschließlich auf das Prinzip der direkten Identifikation stützen muß. Allerdings gibt es auch in den Kulturlandschaften der gemäßigten Zone oft noch schöne Beispiele dafür, daß mit dem Wechsel in natürlichen Faktoren auch die Art der Nutzung sich verändert¹¹⁾. Auf alle Fälle aber bleibt hier der visuelle Aspekt der Nutzungstypen immer die wichtigste Informationsquelle. Damit ist auch die Frage der günstigsten Jahreszeit entscheidend, indem der Wechsel der Jahreszeiten sich wesentlich auf das Aussehen der Nutzungsarten auswirkt (Phänologie und Nutzungszustand innerhalb der Vegetationsperiode).

Aus dieser Überlegung heraus stellten wir uns die Aufgabe, den Einfluß der Jahreszeit auf die Interpretationsmöglichkeiten an einem Beispiel einer intensiv genutzten Kulturlandschaft Mitteleuropas (Schweizer Mittelland) zu ermitteln. Die Untersuchung stützte sich dabei auf die jahreszeitlich veränderlichen Merkmale Grauton, Textur und Stereoeffekt. Die übrigen obengenannten Indikatoren dagegen wurden nicht berücksichtigt, da sie nicht oder kaum jahreszeitliche Aspekte annehmen. Gleichzeitig interessierte uns die Frage, wie weit die Landnutzungsinterpretation bei einem gegebenen Maßstab ($\pm 1:10\,000$) ins Detail gehen kann.

Wir versuchten, die gestellte Frage mit Hilfe einer statistischen Auswertung zu beantworten. Diese konzentrierte sich zunächst auf die Gewinnung von Aussagen quantitativer Art über die einzelnen Nutzungstypen, gegeben durch die drei berücksichtigten Indikatoren. In einem zweiten Arbeitsgang

⁶⁾ Dabei ist es nicht in allen Fällen notwendig, Bilder aus aufeinanderfolgenden Jahren zur Verfügung zu haben. Rotationen mit einfacher Struktur (etwa Zwei- oder Dreifelderwirtschaften) können aus den prozentualen Flächenanteilen der Kulturen am Gesamtareal abgeleitet werden und sind somit aus einer Luftbildserie (s. etwa Schmiedt 1960) (oder natürlich einer Statistik, vgl. dazu Andrae 1959) ersichtlich.

⁷⁾ Eine gute Illustration dazu bildet die Landnutzungsaufnahme in Gambia, für die das Hauptproblem neben der allgemeinen Kartierung der gegenwärtigen Nutzung die Erfassung der räumlichen Verschiebung der Reisanbauflächen in einem Zeitraum von zehn Jahren war (s. Brunt 1959).

⁸⁾ Vgl. dazu z. B. Bomberger und Dill 1960 (p. 566 ff.), Eardley 1941 (p. 133), Goodman 1954 und 1959, Howe 1951, Kohn 1952–54, Müller-Miny 1953, Packman und Philpotts 1955, Smith 1943 (p. 114), Spurr 1948 (p. 179 ff.). In der russischen Literatur (z. B. Samojlowitsch 1953, Weselowskij 1958) wird diese Technik auch »Dechiffrierung« genannt.

⁹⁾ Diese bestehen zu einem guten Teil aus einer bodenkundlichen Aufnahme. Zu diesem Thema s. Buringh 1954, 1958 und 1960, Buringh und Veenenbos 1960. Eine gute Zusammenfassung der dabei angewendeten Prinzipien gibt auch Schmidt-Kraepelin 1960.

¹⁰⁾ In vorbildlicher Form wird mit der Korrelation gegenwärtig z. B. bei der Ausführung des »Grassland Survey« in Rhodesien gearbeitet (mündliche Mitteilung von Herrn Verboom, Ministry of African Agriculture, Lusaka, in Delft, Sommer 1960). Diese Technik scheint auch in der Sowjetunion stark fortgeschritten zu sein, wie aus verstreuten Angaben in der Literatur (Gospodinow 1960, Miroschnitschenko 1960) zu ersehen ist. Die heutigen Methoden dürften dabei auf den zuerst von Havemann 1937 eingeführten Prinzipien aufgebaut sein.

¹¹⁾ S. z. B. Zonneveld 1948 über Limburg (Niederlande).

wurden die Ergebnisse in einem Vergleich der verschiedenen Nutzungsarten weiterverarbeitet, was theoretische Angaben über die Unterscheidbarkeit in Form von prozentualen Erfolgsraten ermöglichte. Dieses Vorgehen, das quantitative Resultate lieferte, hat folgende Vorteile:

1. Es ermöglicht eindeutige Aussagen. Die für die Interpretation günstigsten Jahreszeiten können ziemlich genau abgegrenzt werden.
2. Es läßt Vergleiche mit den Resultaten ähnlicher Arbeiten zu.
3. Es gibt zahlenmäßige Angaben über die Brauchbarkeit der untersuchten Indikatoren und damit über die zu erwartende Zuverlässigkeit der Interpretation¹²⁾. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die quantitativen Erfolgswerte nur auf Grauton, Textur und Stereoeffekt basieren. Zur Abschätzung der Aussichten bei mit allen Hilfsmitteln durchgeführter Interpretation müßte der Informationswert der jahreszeitlich unabhängigen Indikatoren mitberücksichtigt werden. Außerdem haben die Resultate nur theoretische Bedeutung. Ihre Richtigkeit müßte durch die praktische Anwendung eines auf den Ergebnissen aufgebauten Schlüssels und die Verifizierung der Resultate im Felde erhärtet werden.

Die drei von uns berücksichtigten Indikatoren, Grauton, Textur und Stereoeffekt, werden in ihrer Qualität durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Eine Untersuchung der Wirkungsweise dieser Faktoren war deshalb unumgänglich. Erst mit ihr war es möglich, die Resultate von den verschiedenen Filmstreifen auf einheitliche Verhältnisse zu korrigieren, miteinander zu vergleichen und in ein jahreszeitliches Schema einzuordnen. Der Grauton verlangte dabei die ausgedehnteste Behandlung, da er ein sehr komplexes Resultat einer Vielzahl von Faktoren darstellt.

1.2 Bisherige Arbeiten zum Thema »Landnutzungsinterpretation von Luftbildern«

Bevor wir nun zu unserer Arbeit übergehen, sei noch ein Blick auf die bisherigen methodischen und praktischen Arbeiten zum Thema »Landnutzungsinterpretation von Luftbildern« geworfen¹³⁾.

Hinweise auf das Aussehen ganzer Agrarlandschaften oder einzelner Nutzungstypen finden sich in Handbüchern oder Arbeiten allgemeinen Charakters, so etwa bei Baumann 1957 (p. 59), Dürst 1959 (p. 30 und 31), Hagen 1950 (p. 256), Krause 1955 (p. 37), Linton 1952 (p. 24 und 25), Miller 1960, Müller-Miny 1952 und 1953, Sisam 1947, Smith 1943 (p. 114 und 115) und Walker 1956 (p. 97 ff.).

Unter den Publikationen, die sich ausschließlich oder zu einem großen Teil mit der Landnutzungsinterpretation beschäftigen, sind zunächst einmal solche zu nennen, die für bestimmte Regionen den Aspekt verschiedener Nutzungstypen beschreiben oder (und) mit Photoausschnitten illustrieren¹⁴⁾: Buck 1937 (China), Fenton 1951 (Schottland), Macfadden 1949 (Kalifornien), Packman und Philpotts 1955 (Kanada), US Geological Survey 1944a (Pazifik) und 1944b (China), US Naval Photographic Intelligence Center 1945 (Pazifik) und Zonneveld 1950 (Surinam). Sie alle aber geben keine Auskunft über die Erfolgsaussichten bei der praktischen Arbeit.

Die Anwendung der Luftbildinterpretation für die Erstellung von Landnutzungskarten hat in verschiedenen Teilen der Erde schon eine weite Verbreitung erfahren. Es handelt sich dabei entweder um methodische Untersuchungen zu Studienzwecken oder aber um praktische, im Rahmen von staatlichen Landwirtschaftsprogrammen durchgeführte Aufnahmen. Die mir bekannten Länder, für die ganz oder teilweise Landnutzungskarten mit der Hilfe von Luftbildern erstellt wurden oder werden, seien hier genannt: Britisch Honduras (Colonial Office 1959), Burma (Lay 1959), Ceylon (Rosayro 1958), Cypern (Rawson und Sealy 1957 und Hunting Technical Services Ltd. 1960), Gambia (Brunt 1959), Ghana (Boon 1960), Hongkong (Tregear 1958), Jamaica, Britische Antillen und British Guyana (Boon 1960 und Regional Research Centre of the British Caribbean 1958–60), Irak¹⁵⁾, Israel¹⁶⁾, Kenya (Petrides 1959), Libanon (Sfeir, Grappotte und Mezher 1960), Nepal (Karan 1960), Niederländische Antillen (Westermann und Zonneveld 1956), Portugal (Boon 1960), Singapore (geplant, Purseglove 1958), Sizilien (Bonasera 1958 und Schmiedt 1960), Tanganyika und Nyassaland (IGU Com-

¹²⁾ Damit kommt es einem berechtigten Postulat von Young 1955 nach, der vermehrte Untersuchungen quantitativer Art fordert. Mit ihnen sollen die Interpretationsaussichten numerisch faßbar gemacht werden.

¹³⁾ Die hier gebotene Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie enthält die mir im Laufe der Arbeit bekannt gewordenen Angaben und bespricht mir zugängliche Literatur. Es besteht die Absicht in einer späteren Arbeit einen detaillierteren Überblick zu geben.

¹⁴⁾ Zum Teil sind diese in Form von Auswahlkatalogen zusammengestellt.

¹⁵⁾ Aufnahme von Hunting ausgeführt. Es ist mir unbekannt, ob darüber etwas publiziert ist.

¹⁶⁾ Laut nationaler Ausstellung am Kongreß für Photogrammetrie, London 1960.

mission on an Inventory of World Land Use 1960), Trinidad (Sisam 1947), Uganda (Petrides 1958), Vietnam und Kambodscha (Boon 1960), Wales (Howe 1951). In allen diesen Fällen wurden Luftbilder in verschieden starkem Grade zur teilweisen Ersetzung der konventionellen Feldaufnahme herangezogen. Das Verhältnis von reiner Luftbildinterpretation zu Feldarbeit schwankt dabei je nach dem Typ der gewünschten Karte und dem Komplexitätsgrad des Nutzungsmusters. Im allgemeinen dürfte die Einsparung an Zeit gegenüber der reinen Feldkartierung etwa $\frac{1}{2}$ bis $\frac{4}{5}$ betragen.

Mit allgemeinen Fragen der Landnutzungsinterpretation befassen sich Lommasson und Waldo 1954, Spartan Air Services Ltd. 1960 und Trapnell 1952¹⁷⁾.

Eine Anzahl von Publikationen widmet sich speziellen Fragen:

1. Untersuchung von rezenten Änderungen der Nutzung mit Hilfe von Luftbildern aus verschiedenen Jahren: Brunt 1959 (Gambia), Dill 1957, 1958 und 1959 (North Carolina, Arkansas, New Jersey), Gibbs und Husch 1956 (New Hampshire)¹⁸⁾, Philpotts 1957 a und b (Kanada).

2. Kartierung von kranken Kulturen: Getreide: Colwell 1956, Keegan, Schleter, Hall und Haas 1956 b, US Naval Photographic Interpretation Center 1953 (alle USA)¹⁹⁾; Kakao: West 1945 (Nigeria); Baumwolle: Neblette 1927 und 1928, Taubenhaus, Ezekiel und Neblette 1929 (USA).

3. Das Vorkommen bestimmter Nutzungstypen in bestimmten Naturräumen: Dill 1955 (Kulturen in Zonen verschiedener Hochwasserhäufigkeit, New Hampshire), Brunt 1959 (Reis in hochgelegenen trockenen Gebieten und im Mangrove-Sumpf-Gürtel, Gambia).

4. Die Brauchbarkeit von besonderem Filmmaterial für die Landnutzungsinterpretation: Steinmetz 1957 (Farbbilder, Bundesrepublik Deutschland), Maruyasu und Nishio 1960 a und b (Farb- und Infrarotaufnahmen, Japan)²⁰⁾, Colwell 1960 (Farbbilder, allgemein). Es wird dabei die Meinung vertreten, daß beide Filmarten, sowohl Farb-

wie auch Infrarotmaterial, infolge einer reicheren Skala von Tönen die Interpretation der Nutzungstypen erleichtert.

Schließlich seien noch die mir bekannten Arbeiten erwähnt, die thematisch am ehesten in der Richtung unserer Problemstellung gehen, d. h. die sich mit dem Einfluß der Jahreszeit auf die Interpretationsmöglichkeiten auseinandersetzen: Goodfellow 1955²¹⁾ befaßt sich mit jahreszeitlichen Veränderungen landwirtschaftlicher Nutzungseinheiten in einem größeren Rahmen, der auch Objekte anderer Art miteinbezieht. Die Untersuchung war allerdings durch den Umstand gehemmt, daß nicht verschiedene Bildserien aus einem Jahr zur Verfügung standen (Ost-USA). Brunnschweiler 1957 gibt eine beschreibende und illustrative Übersicht über die Veränderungen der Agrarlandschaft im Laufe des Jahres anhand von Photomaterial aus dem Raume Zürich²²⁾. Der Artikel enthält auch einige jahreszeitliche Grautonkurven, die allerdings nur als Richtlinien dienen können, da die Variationsbreiten nicht berücksichtigt sind. Am eingehendsten haben sich Kohn 1952–54 und Goodman 1954 und 1959 mit der Frage des Einflusses der Jahreszeiten auf die Erscheinung von Landnutzungstypen im Luftbild befaßt (Illinois). Eine ganze Reihe von im gleichen Jahr über derselben Region aufgenommenen Luftbildern wurde untersucht. Als wichtigste Hilfsmittel für die Interpretation wurden Grauton und Textur angesehen. Zur Ermittlung von Tonveränderungen wurden ebenfalls, wie in unserer Arbeit, Densitometermessungen ausgeführt. Die Resultate sind in Form von beschreibenden Schlüsseln zusammengefaßt. Da das Material weiter nicht statistisch behandelt wurde, ergeben sich auch hier nur qualitative Aussagen. Die Autoren kommen zum Schluß, daß die wichtigsten Kulturen (Wiesen, Mais, Hafer, Sommergerste, Winterweizen) sich unterscheiden lassen. Im Manual of Photographic Interpretation haben Bomberger und Dill 1960 Material über den mit der Jahreszeit veränderlichen Aspekt verschiedener Nutzungsarten zusammengetragen, wobei auch regionale Beispiele gegeben sind. Schließlich hat der Schreibende die Bedeutung der Jahreszeit für die Landnutzungsinterpretation am Beispiel eines alpinen Wirtschaftsraumes (Heinzenberg, Schweiz) gezeigt (Steiner 1960 b) und in einem Paper eine Zusammenfassung der in dieser Arbeit angewendeten Methode gegeben (Steiner 1960 a).

¹⁷⁾ Spartan Air Services Ltd. z. B. unterscheidet in einer Broschüre (1960) drei Typen der Interpretation und gibt dafür die benötigten Maßstäbe wie folgt: »broad study«: 1:30 000 bis 1:70 000, »general study«: 1:10 000 bis 1:30 000, »detailed study«: 1:10 000 und größer.

¹⁸⁾ Hier thematisch allerdings in erster Linie forstliche Interpretation.

¹⁹⁾ Untersuchung der Unterscheidbarkeit von gesundem und krankem Getreide auf Grund von Eigenheiten der spektralen Reflexion.

²⁰⁾ Hier handelt es sich um Arbeiten über Infrarot- resp. Farbfilm allgemeinen Charakters, wobei die Frage eines Vorteils für die Landnutzungsinterpretation gestreift wird.

²¹⁾ Die Einsicht in dieses Manuskript verdanke ich Herrn Dr. D. Brunnschweiler, Michigan State University, East Lansing, früher Clark University, Worcester.

²²⁾ Dasselbe Photomaterial ist auch in unserer Arbeit mitverwertet worden.

Die Frage der günstigsten Jahreszeit wird in verschiedenen dieser Arbeiten aufgeworfen. Brunnschweiler 1957 betont, daß jede Jahreszeit innerhalb der Vegetationszeit ihre Vorteile für die Interpretation hat. Falls die Identifikation der einzelnen Kulturen im Vordergrund steht, betrachtet er für den Raum von Zürich die Monate Juni und Juli²³⁾ als am besten geeignet. Für deutsche Fluren hält Credner 1943 die Zeit der Winterroggenernte am besten, wenn der Roggen noch in Puppen auf dem Feld steht. Nach den bisherigen Untersuchungen von Steinmetz 1959²⁴⁾ in Hessen lassen sich Ende Mai bis Anfang Juni²⁵⁾ Winterung, Sommerung und Hackfrucht mit einiger Sicherheit unterscheiden. Zur gleichen Zeit ist aber die Differenzierung von Sommerung und Grünland schwierig. Vor der Getreideernte wächst die Unterscheidungsmöglichkeit in bezug auf die verschiedenen Getreidearten auf Grund der zunehmenden Gelbfärbung. Packman und Philpotts 1955 geben für Ontario nicht eine Jahreszeit an, die für eine allgemeine Interpretation am günstigsten wäre, sondern je nach Kultur verschiedene Zeiten. Getreidefelder wie Hafer und Sommer-

gerste können am besten in der zweiten Hälfte Juni bis Juli²⁶⁾ identifiziert werden, wobei aber die einzelnen Arten ununterscheidbar sind. Kohn 1952–54 und Goodman 1954 und 1959 betrachten nach ihren Untersuchungen in Illinois die zweite Hälfte Juli (Zeit unmittelbar vor der Getreideernte) als günstigste Zeit. Sie soll die Identifizierung der wichtigsten Kulturen (Kunstwiesen, Hafer, Sommergerste, Winterweizen, Mais) erlauben. Diese zum Teil sehr verschiedenen Resultate, die sich alle auf die konventionelle panchromatische Aufnahme beziehen, zeigen, daß alle Ergebnisse nur regionale Gültigkeit haben und außerdem vom Typ der gewünschten Kartierung (allgemeine Übersichts- oder allgemeine Detailaufnahme, auf bestimmte Nutzungstypen gerichtete spezielle Kartierung) abhängen.

²³⁾ Entspricht beim Getreide etwa der Zeit vom Ährenschieben bis zur Ernte.

²⁴⁾ Nach schriftlicher Mitteilung vom 17. 2. 1959

²⁵⁾ Nach den Karten bei Kessler 1938 zu schließen, dürfte dies etwa derselben Zeit im zürcherischen Mittelland entsprechen, also etwa dem Zeitpunkt des Ährenschiebens beim Wintergetreide.

²⁶⁾ Die Sommergetreide haben zu dieser Zeit eine Wuchshöhe von 20–35 cm erreicht. Dies entspricht bei uns der Zeit Ende Mai bis Anfang Juni.

2. Das verwendete photographische Material und die Landnutzungskartierung im Felde

Das der vorliegenden Arbeit in erster Linie als Basis dienende photographische Material wurde vom Militärflugplatz Dübendorf in verschiedenen Gegenden der Schweiz und zu verschiedenen Jahreszeiten in den Jahren 1957 und 1958 aufgenommen (vgl. Tab. 2). Sobald wie möglich nach den Flugtagen wurde im aufgenommenen Gelände eine Landnutzungskartierung durchgeführt. Für diese Feldarbeit fanden immer direkt die Luftbildkopien Verwendung, was das Lokalisieren der Parzellen auf den Photos ermöglichte und den Vergleich Wirklichkeit-Abbild schon im Gelände gestattete.

Bei der Kartierung wurden die elf wichtigsten Landnutzungstypen des schweizerischen Mittelandes berücksichtigt. Diese sind nach der Nutzungsstatistik 1955 (Eidgenössisches Statistisches Amt 1959) mit folgenden Flächen- und prozentualen Anteilen ausgewiesen:

Tab. 1 Die wichtigsten Kulturen des schweizerischen Mittellandes¹⁾

Kultur	Fläche in ha	% der LN
Naturwiesen ²⁾	362 171	48,4
Kunstwiesen ³⁾	130 756	17,5
Winterweizen und Korn ⁴⁾	90 936	12,2
Kartoffeln ⁵⁾	41 161	5,5
Hafer ⁶⁾	17 178	2,3
Runkel- und Zuckerrüben ⁷⁾	16 320	2,2
Sommergerste ⁸⁾	10 220	1,4
Winterroggen ⁹⁾	9 982	1,3
Wintergerste	6 789	0,9
Sommerweizen	5 367	0,7
Raps	3 006	0,4
Landwirtschaftl. Nutzfläche (LN)	748 254	100,0
Herbstgrasig ¹⁰⁾	13 837	1,8

Bemerkungen zu Tab. 1:

¹⁾ Die Abgrenzung des Mittellandes erfolgte nach dem Vorschlag von Carol und Senn 1950. Nicht berücksichtigt in unserer Zusammenstellung wurden die Dauerweiden, deren Gesamtfläche zwar beträchtlich ist, die jedoch für den größten Teil des Mittellandes keine Rolle spielen. Sie treten erst im subalpinen Raum und im Jura stärker in Erscheinung und können dort auf den Luftbildern während der ganzen Vegetationszeit ohne Schwierigkeiten erkannt werden (s. Hinweise unter Textur 5.5). Ebenso fehlt die sehr heterogene Gruppe

Im Laufe der Feldaufnahmen wurden auch Wuchshöhe und allgemeiner Zustand der Felder notiert.

Außer den erwähnten Aufnahmen standen uns noch eine Reihe von älteren Luftbildserien zur Verfügung, zu denen ebenfalls, wenigstens teilweise, eine Nutzungskartierung vorlag. Diese Bilder waren zwar bereits einmal für Untersuchungen ähnlicher Art bearbeitet worden, so die Serien von Pfaffhausen-Fällanden im Beitrag von Brunnschweiler 1957 und diejenigen vom Heinzenberg in der Diplomarbeit des Schreibenden (Steiner 1956) (vgl. Tab. 2). Um eine möglichst breite Basis für die statistische Bearbeitung zu gewinnen, war es jedoch wünschbar, dieses Material nochmals unter neuen Gesichtspunkten zu verwenden. Aus dem gleichen Grunde wurden

Gemüse, von deren Untersuchung wir ganz abgesehen haben. Die Gemüseparzellen zeichnen sich jedoch auf dem Luftbild durch ihre Kleinheit, ihre Lage (meist in Hofnähe) und ihre unruhige Musterung (z. B. Bohnenreihen) aus.

²⁾ Die Statistik unterscheidet nicht zwischen Fett- und Magerwiesen. In unserer Auswertung haben wir nur die Fettwiesen berücksichtigt, da für die regionale Verbreitung der Magerwiesen dasselbe wie für die Dauerweiden gilt.

³⁾ Die Gruppe Kunstwiesen enthält ein- und mehrjährige Mischungen. Bei der praktischen Einteilung des Grünlandes in Natur- und Kunstwiesen ergeben sich Schwierigkeiten, da sich ältere Kunstwiesen aspektmäßig allmählich den Naturwiesen nähern. Bei der Kartierung wurden alle jene Parzellen zu den Kunstwiesen gerechnet, die noch einen flächenmäßig dominierenden Anteil an ursprünglich eingesäten Pflanzen (Leguminosen, Gräser) aufwiesen. Für die Interpretation ist jedoch zu beachten, daß die Übergänge gleitend sein können. Schwierigkeiten werden sich vor allem in Gebieten mit mehreren Grünlandjahren innerhalb des Rotationsystems (Feldgraswirtschaft) ergeben. Vgl. auch Abschnitt 5.5, Wiesen, p. 34.

⁴⁾ Zum vornherein wurde bei der Kartierung nicht zwischen Winterweizen und Korn (Dinkel, Emmer, Einkorn) unterschieden, deren Phänologie sich derart ähnlich ist, daß ein Versuch der Differenzierung auf dem Luftbild von Anfang an als hoffnungslos angesehen werden muß. Außerdem enthält dieser Posten 50 % der Fläche von Brotgetreide-Mischel Frucht (Winterweizen, Winterroggen).

⁵⁾ Die Statistik unterscheidet nicht zwischen Früh- und Spätkartoffeln. Wir nahmen für die beiden Arten in unserer Auswertung je einen hälftigen Anteil an. Lokal kann das Verhältnis jedoch stark verschieden sein.

⁶⁾ Dem Hafer wurden 50 % der Fläche von Futtergetreide-Mischel Frucht (Hafer, Sommergerste) zugeschlagen.

⁷⁾ Für die Unterscheidbarkeit von Runkel- und Zuckerrüben gilt dasselbe, was oben für diejenige von Winterweizen und Korn gesagt wurde.

⁸⁾ Inkl. 50 % Mischel von Futtergetreide.

⁹⁾ Inkl. 50 % Mischel von Brotgetreide.

¹⁰⁾ Neben den elf wichtigsten Hauptkulturen berücksichtigten wir als verbreitetste Nachfrucht die in der Statistik als »Herbstgrasig« bezeichnete Gruppe. Es handelt sich dabei vorwiegend um Wickhafer (Mischung aus Wicke, Raps und Hafer).

Photos aus verschiedenen Landesgegenden herangezogen. Es war die Meinung, daß sich damit eher regionale Beschränkungen umgehen und besser für einen größeren Rahmen gültige durchschnittliche Resultate erzielen lassen. Diese können dann

später für eine regionale Verwendung unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten sinn- gemäß abgewandelt werden. Schließlich seien noch die technischen Daten für die Dübendorfer Aufnahmen angegeben:

Tab. 2 Technische Daten der verwendeten Luftbilder

No.	Lokalität	Aufnahme- datum		maßgebendes Datum		Tageszeit	Flughöhe ü. G.	mittlerer Maßstab
1	Guntalingen-Waltalingen (ZH)	20. 9. 57	263	23. 9. 57	266	11.00	900 m	1: 5 000
2	Guntalingen-Waltalingen (ZH)	20. 9. 57	263	23. 9. 57	266	11.00	1750 m	1: 10 000
3	Guntalingen-Waltalingen (ZH)	20. 9. 57	263	23. 9. 57	266	11.00	3300 m	1: 19 000
4	Guntalingen-Waltalingen (ZH)	9. 5. 58	129	8. 5. 58	128	9.50	1400 m	1: 8 000
5	Guntalingen-Waltalingen (ZH)	17. 6. 58	168	17. 6. 58	168	10.50	1400 m	1: 8 000
6	Hüswil-Luthern (LU)	17. 6. 58	168	9. 6. 58	160	10.30	2300 m	1: 13 000
7	Hüswil-Luthern (LU)	9. 8. 58	221	30. 7. 58	211	8.40	2200 m	1: 12 000
8	St. Imier-Freiberge (BE), Tal	17. 6. 58	168	28. 5. 58	148	10.20	2500 m	1: 14 000
	Plateau	17. 6. 58	168	18. 5. 58	138	10.20	2300 m	1: 13 000
	St. Imier-Freiberge (BE), Tal	9. 8. 58	221	15. 7. 58	196	8.50	2600 m	1: 14 000
9	Plateau	9. 8. 58	221	27. 6. 58	178	8.50	2300 m	1: 13 000
	Pfaffhausen-Fällanden (ZH)	1. 5. 52	121	6. 5. 52	126	11.10	2200 m	1: 12 000
11	Pfaffhausen-Fällanden (ZH)	5. 6. 52	156	17. 6. 52	168	9.25	2200 m	1: 12 000
12	Pfaffhausen-Fällanden (ZH)	11. 7. 52	192	17. 7. 52	198	11.55	2200 m	1: 12 000
13	Pfaffhausen-Fällanden (ZH)	6. 8. 52	218	10. 8. 52	222	11.05	2300 m	1: 13 000
14	Pfaffhausen-Fällanden (ZH)	11. 8. 53	223	17. 8. 53	229	14.10	2200 m	1: 12 000
15	Heinzenberg (GR), Masein	18. 6. 54	169	12. 6. 54	163	10.30	3100 m	1: 17 000
	Flerden	18. 6. 54	169	22. 5. 54	142	10.30	2800 m	1: 16 000
	Barias	18. 6. 54	169	12. 5. 54	132	10.30	2700 m	1: 15 000
	Heinzenberg (GR), Masein	31. 8. 54	243	1. 8. 54	213	10.15	3100 m	1: 18 000
16	Flerden	31. 8. 54	243	17. 7. 54	198	10.15	2900 m	1: 16 000
	Barias	31. 8. 54	243	9. 7. 54	190	10.15	2800 m	1: 16 000

Tab. 3 Übersicht über das verwendete Photomaterial

Kamera	Kodak K-24 mit Schlitzverschluß
Objektiv	Kodak Aero Ektar, Brennweite 7" (17,8 cm)
Format	13 × 13 cm
Negativmaterial	Kodak Aerographic Super XX und Ilford Hyperpan Aerial
Filter	Ohne Zeichen, wahrscheinlich aber Kodak Wratten No. 12 (Minus blue) ¹⁾
Blende	4–5,6
Belichtung	¹ /450 sec.
Entwickler für Film	Perutz Feinkorn- und Ausgleichs-entwickler
Entwicklungszeit	20–30 min.
Positivmaterial	Ilford Contact Grade 2–4 und Gevaert Ridax 8
Stereoskopische Überdeckung	Durchschnittlich 60 %

¹⁾ Durchlässigkeitskurve des Filters freundlicherweise von der Edgar Gretener AG, Zürich, bestimmt.

3. Das phänologische Standardschema

Um den bestimmten jahreszeitlichen Aspekt eines Nutzungstyps auf der Photo jederzeit durch das zugehörige phänologische Entwicklungsstadium charakterisieren zu können, war es nötig, die Phänologie der in Frage kommenden Kulturen zu kennen. Wir versuchten deshalb, ein phänologisches Standardschema aufzustellen, das markante Daten (Saat, Blüte, Ährenschieben, Ernte) und die Veränderung der Wuchshöhen enthalten sollte.

Für die Festsetzung der phänologisch wichtigen Daten wurden im wesentlichen die von der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich in den Jahren 1951–1958 im östlichen schweizerischen Mittelland gesammelten Beobachtungen herangezogen. Sämtliche in diesem Material verfügbaren Angaben dienten zur Mittelbildung, in der Annahme, daß damit die Verhältnisse für ein klimatisch ungefähr mittleres Jahr vorliegen würden. Es konnten Beobachtungen folgender Stationen verwendet werden:

Tab. 4 Phänologische Beobachtungen im tieferen östlichen Mittelland

Station	Höhe ü. M.	Beobachtungen in den Jahren
Albigüetli-Zürich	550	1952–55, 57–58
Bülach ZH	430	1952
Bürglen TG	445	1954
Effretikon-Illnau ZH	515	1956–58
Herblingen SH	450	1951–54, 58
Hönggerberg-Zürich	530	1951–56, 58
Kloten-Glattbrugg ZH	445	1952–57
Oberhausen-Glattbrugg ZH	430	1958
Oberweiningen ZH	464	1955
Otelfingen 1 ZH	450	1955–58
Otelfingen 2 ZH	447	1956–58
Rafz ZH	470	1952–58
Winterthur-Töss ZH	460	1955–58

Wie die Auswahl der berücksichtigten Stationen zeigt, ist das ermittelte Schema gültig für das östliche Mittelland mit einer Höhenlage von 400 bis 500 m ü. M.

Zusätzliche Informationen lieferten Angaben von

Landwirten und landwirtschaftliche oder phänologische Literatur (Gensler 1946, Kummer 1953, Naef und Grisch 1936, Schneider 1954, Schnyder und Kauter 1943, Wirz 1958). In das Schema wurden sodann auf Grund der eigenen Beobachtungen im Gelände Wuchshöhen und weitere Entwicklungszustände (erstes Grün, Beginn der Reife) eingetragen. Die schlußendlich resultierende phänologische Basis ist in Abb. 1 dargestellt.

Um zu zeigen, welchem mittleren Temperaturverlauf dieses Schema entspricht, wurden die Monatsmitteltemperaturen der Stationen Zürich MZA (569 m ü. M.), Winterthur (485 m) und Frauenfeld (433 m) für den gleichen Zeitraum (1951–58) gemittelt, was in Abb. 2 dargestellt ist¹⁾.

Für das Studium der jahreszeitlichen Veränderungen des Photoaspektes der verschiedenen Nutzungstypen wurde alles für diesen Zweck brauchbare Photomaterial herangezogen. Da dieses aus verschiedenen Landesgegenden und aus verschiedenen Jahren stammte, war es nötig, die Aufnahmedaten entsprechend dem jeweiligen lokalen Entwicklungszustand der Vegetation zu korrigieren. Erst danach war es möglich, die Resultate der verschiedenen Streifen zeitlich miteinander zu vergleichen und in das phänologische Standardschema einzuordnen. Informationen über den lokalen Entwicklungszustand im Moment der Flugaufnahme erhielten wir durch eigene Beobachtungen während der Landnutzungskartierung und durch solche benachbarter phänologischer Stationen. Zu welchen maßgebenden Daten die Korrekturen führten, ist in Tab. 2 angegeben.

Es ist zu beachten, daß sich alle späteren Resultate über die Interpretationsmöglichkeiten in intensiv genutzten Regionen auf dieses für das tiefere östliche Mittelland gültige Schema beziehen. In anderen Regionen der Schweiz würden, je nach Lokalklima, alle Daten zeitlich verschoben und die

¹⁾ Quelle: Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt: Annalen 1951–58.

Vegetationszeiten der einzelnen Kulturen als Ganzes verkürzt oder verlängert. Die Abklärung dieser Verschiebungen ist in erster Linie ein phänologisches Problem und wird hier nicht behandelt.

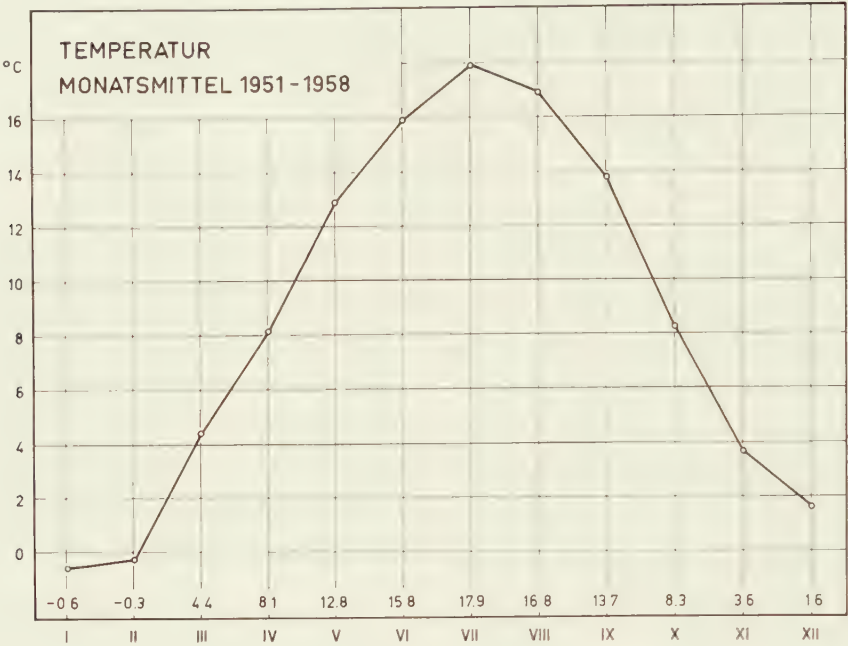


Abb. 2 Temperatur-Monatsmittel 1951-58 für das östliche Mittelland (400-500 m ü. M.)

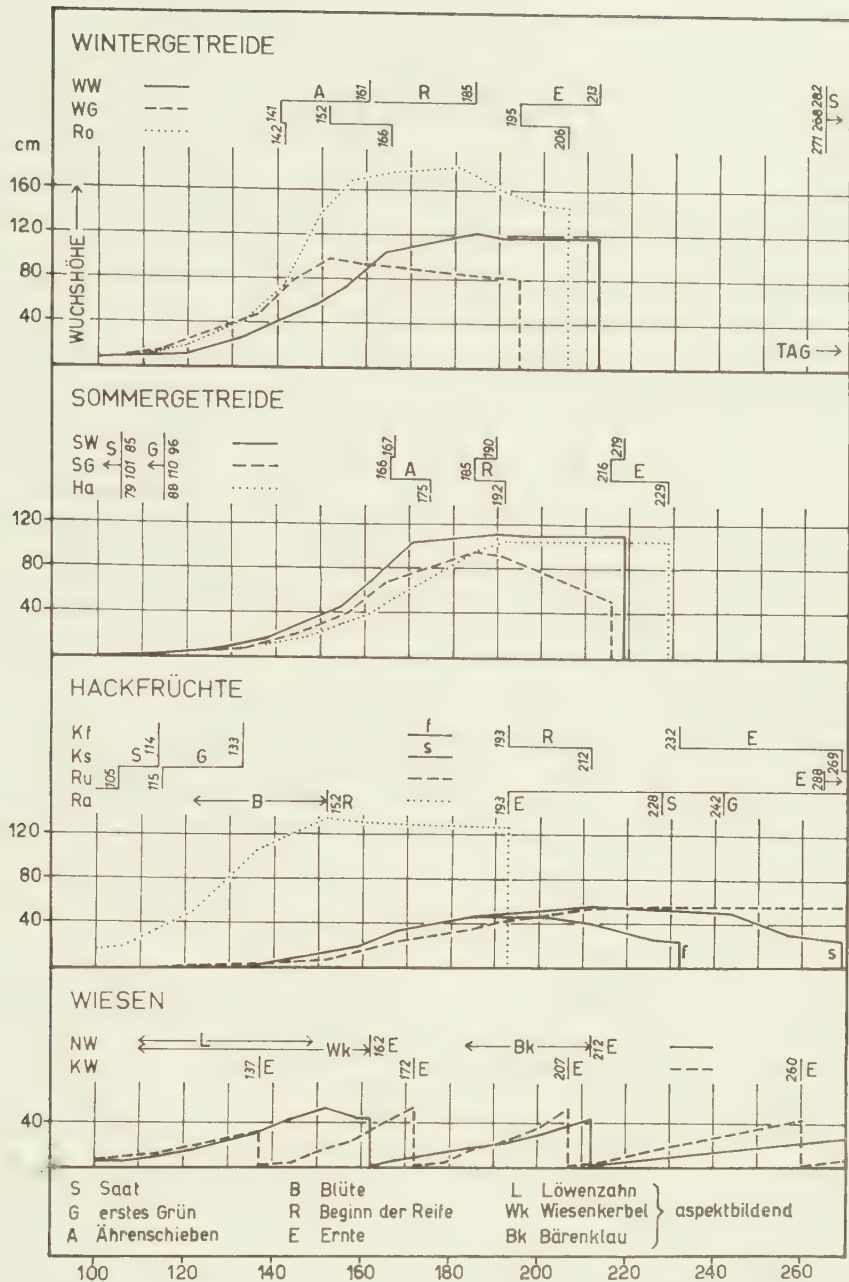


Abb. 1 Phänologisches Schema für die tieferen Lagen des östlichen Mittellandes

Die Abkürzungen für die Nutzungstypen bedeuten:

WW = Winterweizen	Kf = Kartoffeln, frühe
WG = Wintergerste	Ks = Kartoffeln, späte
Ro = Roggen	Ru = Runkelrüben
SW = Sommerweizen	Ra = Raps
SG = Sommergerste	NW = Naturwiese
Ha = Hafer	KW = Kunstwiese

4. Der Grauton

4.1 Definition

Unter »Grauton« oder dem Synonym »Schwärzung«¹⁾ wird die Helligkeit einer belichteten und entwickelten Stelle einer photographischen Emulsion verstanden. Die Größe des Helligkeitswertes wird dabei gegeben durch den Prozentsatz des Lichtes, der von der betreffenden Stelle absorbiert wird. Aus verschiedenen Gründen²⁾ werden zweckmäßigerweise logarithmische Werte verwendet. Die Schwärzung S ist dann:

$$S = \log A$$

wobei A die Absorptionsfähigkeit der photographischen Schicht ist. A wiederum ist definiert als reziproker Wert des Reflexionsvermögens R beim Positiv, resp. der Transparenz T beim Negativ. Es ist also:

$$\text{Positiv: } A = \frac{1}{R} \qquad \text{Negativ: } A = \frac{1}{T}$$

Ausführliche Darstellungen finden sich in der entsprechenden Fachliteratur (z. B. Mees 1946, Angerer 1956).

4.2 Übersicht über die grautonbestimmenden Faktoren

Der endgültige Grauton auf der entwickelten photographischen Schicht ist das Produkt einer Vielzahl von Faktoren. Ihre Wirkung muß vorerst abgeklärt werden, wenn als Endziel die Veränderung der Schwärzung in Abhängigkeit von der Jahreszeit ermittelt werden soll.

Am Anfang des ganzen photographischen Prozesses stehen die ursprünglichen Helligkeiten der aufgenommenen Objekte. Auf dem Wege zu ihrer photographischen Abbildung können nun prinzipiell zwei verschiedene Wirkungen unterschieden werden:

1. Die im photographierten Landschaftsausschnitt auftretenden Kontraste werden verändert. Die photographische Abbildung zeigt eine andere Helligkeitsabstufung als die Wirklichkeit. Diese Veränderung wirkt sich in erster Linie auf die Grauton-Mittelwerte aus.

2. Die unter 1. genannte Veränderung gelte für das Zentrum einer Aufnahme, also für den Durchstoßpunkt der optischen Achse und seine unmittelbare Umgebung. Alle Stellen der Photos, die außerhalb dieses Bereiches liegen, zeigen – bei gleichem Objekttyp – eine gegenüber dem Zentrum veränderte Schwärzung. Diese ist durch eine ungleichmäßige Beleuchtungsverteilung in der Brennebene der Kamera zu erklären. Die Schwärzungsabwandlung ist eine Funktion der räumlichen Orientierung der Einfallsrichtung des vom Objekt kommenden Lichtes in bezug auf optische Achse und Sonnenstand. Sie beeinflußt vor allem die Grauton-Streuungswerte.

In beiden Fällen interessieren uns – unter der Annahme, daß der Film richtig belichtet ist und alle Helligkeitsabstufungen enthält – nicht die absoluten, sondern die relativen Werte der in der Kamera wirkenden Helligkeiten.

4.3 Die Kontrastveränderungen

Der Gang der Kontrastveränderungen kann sehr anschaulich auf graphische Weise dargestellt werden. Man verwendet dazu ein Diagramm mit vier Quadranten, wobei in dreien je eine charakteristische, die Kontrastveränderung bestimmende Kurve, und im letzten Quadranten die daraus resultierende Reproduktionskurve wiedergegeben ist (s. Abb. 3)³⁾. Die Umformung der Kontraste kann nun verfolgt werden, indem für einzelne Helligkeitswerte von Achse 1 ($\log H_0$) aus Linien bis zur Kurve in Quadrant I gezogen werden. An

¹⁾ Im Falle des Negativs wird ausschließlich der Ausdruck »Schwärzung« verwendet.

²⁾ Einer der wichtigsten Gründe ist die Eigenschaft des menschlichen Auges, Helligkeitsabstufungen logarithmisch zu empfinden (s. z. B. Hofstaetter 1957, p. 237 ff.).

³⁾ Nach Brock 1952, der ein entsprechendes, für die normale terrestrische Photographie gültiges Diagramm von Jones und Condit 1941 auf den Fall der Luftphotographie angewendet hat. Die ursprüngliche Darstellung findet sich auch bei Mees 1946.

dieser Kurve werden die Linien in einem rechten Winkel gebrochen und bis zur Achse 2 ($\log H_k$) verlängert, auf der nun die neuen relativen Werte abgelesen werden können. Dieser Vorgang wiederholt sich in den Quadranten II und III. Im Quadranten IV wird die resultierende Reproduktionskurve mit Hilfe von Schnittpunkten konstruiert, die sich aus den von Achse 4 (S_p) und Achse 1 herkommenden Linien entsprechender Helligkeitswerte ergeben. Betrachten wir nun in knapper

Form den Vorgang der Kontrastveränderungen in den einzelnen Quadranten, ausgehend von Achse 1.

Objekthelligkeiten. Die ursprünglichen Kontraste im Gelände sind gegeben durch die Helligkeiten der im photographierten Landschaftsausschnitt vorkommenden Objekte. Die Helligkeitswerte werden normalerweise durch den reflektierten Prozentsatz des einfallenden Lichtes ausgedrückt. Einige von uns ermittelten Reflexionswerte seien hier als Beispiele wiedergegeben⁴⁾:

Tab. 5 Reflexionswerte für verschiedene Objekte der Agrarlandschaft⁵⁾

Objekttyp	% Reflexion im sichtbaren Bereich	Anzahl der ausgeführten Messungen
Wiese, frisch gemäht, Heu ausgebreitet	12,9	16
Wiese, frisch gemäht, ohne Heu	10,7	11
Wiese, Wuchshöhe 10 cm	7,5	4
Wiese, Wuchshöhe 20 und mehr cm	6,9	24
Unbewachsener Ackerboden (Braunerde), feucht	8,7	6
Unbewachsener Ackerboden (Braunerde), trocken	15,4	5
Getreide, Wuchshöhe 5 cm	14,0	5
Getreide, Wuchshöhe 45 cm	6,6	9
Getreide, vollreif	11,0	26
Getreide, lagernd	15,6	6
Asphaltstraße, trocken	21,0	14
Naturstraße, trocken	24,5	13
Schlagschatten auf Wiese, Mittelwert	0,7	23
Minimum	0,3	
Maximum	2,2	

Naturstraßen entsprechen den hellsten, Schlagschatten den dunkelsten Flächen, die bei Luftaufnahmen in Agrargebieten zu erwarten sind. Der Objektumfang variierte bei den Messungen von 1:11,1 bis 1:81,7. Er wird im wesentlichen durch die Helligkeit der Schlagschatten und damit indirekt durch Dunst- und Bewölkungsgrad bestimmt. Als Mittelwert kann 1:35 angenommen werden⁶⁾.

Da wir später korrigierte Grautonwerte von verschiedenen Filmstreifen, die zum Teil zu verschiedenen Tageszeiten resp. Sonnenhöhen aufgenommen worden waren, miteinander verglichen, wurde noch die Frage des tageszeitlichen Einflusses abgeklärt. Entsprechende Reflexionsmessungen im Gelände ergaben als Resultat, daß bei allen untersuchten Objekttypen die relative Remission senkrecht nach oben auch bei stärkeren Variationen der Einstrahlungsintensität und der Art der Beleuchtung (Verhältnis direkt: diffus) nahezu gleich

blieb. Es darf deshalb angenommen werden, daß die Kontraste am Boden im allgemeinen unabhängig von Beleuchtungsvariationen⁷⁾ sind⁸⁾. Der Rahmen für die Gültigkeit dieser Annahme ist einerseits gegeben durch die Extremwerte der Sonnenhöhe (Minimum rund 30, Maximum rund 60°) und andererseits durch die Variationsskala der Bewölkung (wolkenlos-klar über dunstig bis Cirrostratus-Decke), bei der gemessen wurde.

⁴⁾ Die Messungen wurden mit einem Luxmeter ausgeführt, auf dessen lichtempfindliche Zelle ein geschwärzter Tubus montiert war, so daß sich annähernd die Remission senkrecht nach oben erfassen ließ. Die gemessenen Werte wurden sodann auf die Reflexion in den gesamten Halbraum umgerechnet. Auf die Details des Messungsvorgangs können wir hier nicht eingehen.

⁵⁾ Angaben über Reflexionsintensitäten geben z. B. auch Brock 1952, Dürst 1958 (hier eine Zusammenstellung von Werten vor allem aus russischer Literatur), Keegan, Schleter, Hall und Haas 1956 a und b, Kulebakin 1930 und Weselowskij 1958 (hier Werte nach Krinow 1947).

⁶⁾ Vgl. auch Brock 1952 (p. 220) und Schwidefsky (p. 65).

⁷⁾ Reguläre (durch die Tageszeit bedingt) und irreguläre (als Folge des Zustandes der Atmosphäre).

⁸⁾ Abgesehen natürlich von den Schlagschatten, die sofort auf Beleuchtungsveränderungen reagieren.

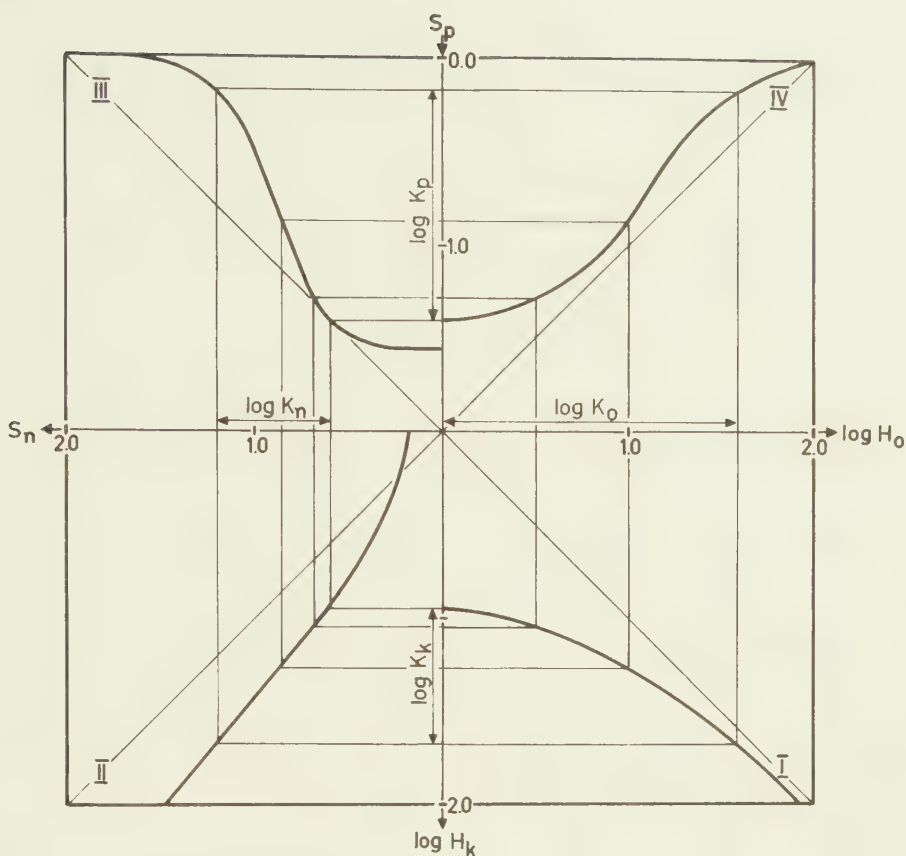


Abb. 3 Grautonreproduktionsdiagramm (n. Brock 1952)

- I DUNST-CHARAKTERISTIK: 20%
- II NEGATIV-CHARAKTERISTIK: KODAK AEROGRAPHIC SUPER XX, $\gamma=0.8$
- III POSITIV-CHARAKTERISTIK: ILMFORD CONTACT GRADE 2, $\gamma \approx 2.7$
- IV REPRODUKTIONSKURVE

Erklärungen zu Abb. 3:

- $\log H_o$ = Logarithmus der ursprünglichen Objekthelligkeiten im Gelände
- $\log K_o$ = Kontrastumfang im Gelände (Objektumfang)
- $\log H_k$ = Logarithmus der bei der Kamera ankommenden Helligkeiten
- $\log K_k$ = Kontrastumfang in der Kamera (Beleuchtungsumfang)
- S_n = Schwärzungen auf dem Negativ
- $\log K_n$ = Kontrastumfang auf dem Negativ (Negativumfang)
- S_p = Schwärzungen auf dem Positiv
- $\log K_p$ = Kontrastumfang auf dem Positiv (Positivumfang)

Luftlicht. Über die ganze Szenerie lagert sich als diffuses, nicht bildformendes Streulicht die Helligkeit des Dunstes. Das Luftlicht hat eine kontrastmindernde Wirkung, indem es sich zu jedem Objekthelligkeitswert als konstant bleibende Größe addiert. Diese Größe wird, damit sie mit den Reflexionswerten der Objekte vergleichbar ist, ebenfalls zweckmäßig in Prozent angegeben.

An und für sich läßt sich die in bestimmten Flughöhen zu erwartende Dunsthelligkeit unter Annahme einer Standardatmosphäre theoretisch voraussagen⁹⁾, doch haben derart ermittelte Werte wenig praktische Bedeutung für die Luftphotographie, da die Verhältnisse im einzelnen stark variieren können. Eingehende Untersuchungen über die tatsächlich bei Flugaufnahmen angetroffenen Dunstwirkungen fehlen jedoch bis jetzt, so daß man sich trotzdem vorläufig mit empirischen Richtwerten begnügen muß. Für die Aufnahme über Freiland bei gutem Wetter mit normalen Sichtverhältnissen¹⁰⁾ gibt Schwidofsky 1954 0% für 1000 m, 3% für 3000 m und 6% für 6000 m Flughöhe, Brock 1952 rund 7% für 20000 ft (ca. 6000 m) Flughöhe an. Eigene Berechnungen aus in dieser Hinsicht auswertbaren Negativen ergaben folgende Werte¹¹⁾:

Tab. 6 Luftlichthelligkeit in verschiedenen Flughöhen

Filmstreifen No.	Luftlichthelligkeit in %	Flughöhe in m ü. G.
4	0,5	1400
2	0,7	1750
3	2,4	3300

Als einfache Faustregel kann man sich vielleicht merken, daß die Dunsthelligkeit im Mittel pro 1000 m Flughöhe 1% beträgt, also 1% für 1000 m, 2% für 2000 m usw.¹²⁾.

Wenn nun also z. B. in 3000 m Flughöhe sich eine Luftlichthelligkeit von 3% dem Gelände überlagert, so wird der ursprüngliche Kontrastumfang von 1:35 auf rund 1:7 vermindert, da zum Wert der hellsten Fläche (Naturstraße, 24,5%) und zu dem der dunkelsten (Schlagschatten, Mittelwert

0,7%) je 3% hinzuzuzählen sind¹³⁾. Es zeigt sich dadurch sofort, daß der Dunst auf die Objekte geringerer Helligkeit einen größeren Einfluß hat als auf die stärker reflektierenden. Dies resultiert in einer Deformation der Kontraste, die im Quadranten I der Abb. 3 durch den gekrümmten Verlauf der Kurve wiedergegeben ist¹⁴⁾.

Negativ-Charakteristik. Auf Achse 2 ($\log H_k$) in Abb. 3 finden sich nun die Helligkeiten, wie sie in der Beleuchtungsebene der Kamera wirken. Durch die Filmcharakteristik werden jetzt die Kontraste wiederum verändert und als Negativschwärzungen abgebildet. Die Art, wie ein entwickelter Film die Helligkeitsabstufungen wiedergibt, wird in Form der charakteristischen Kurve dargestellt (s. Abb. 3, Quadrant II). Diese besteht aus einem längeren geraden Stück und zwei gekrümmten Enden (Fuß und Schulter). Die Steigung des geraden Kurvenstücks wird durch den als »Gamma« bezeichneten Tangens des Steigungswinkels ausgedrückt. Dieser Wert gibt ein Maß für die Kontrastveränderung, sofern die Reproduktion über den geraden Teil der Kurve erfolgt. Bei einem Gamma von 1,0 (Steigungswinkel = 45°) bleiben die Kontraste erhalten, ist es größer als 1,0, werden sie verstärkt, ist es kleiner als 1,0, werden sie abgeschwächt¹⁵⁾.

Die Gradation, wie diese Eigenschaft des Films auch genannt wird, ist eine Funktion von Emulsionstyp, Entwicklerart und Entwicklungszeit. Die bei bestimmter Entwicklung erreichten Gradationen werden von den Firmen für ihre Filme angegeben (z. B. Eastman Kodak 1953, Ilford 1953). Sie können jedoch nur als Standardwerte betrachtet werden, da im einzelnen die Qualität der Emulsion je nach Fabrikation und Lagerung schwanken kann. Für Luftbildfilme werden im allgemeinen Gammawerte von über 1,0 gefordert, um den luftlichtbedingten Kontrastverlust zu kompensieren. Es ist aber zu beachten, daß bei niedrigen Flughöhen mit minimier Dunstwirkung dies nicht nötig oder gar nicht erwünscht ist, da sonst der Belichtungsspielraum zu klein wird.

Es ergibt sich aus dem Gesagten ohne weiteres, daß die Belichtung des Filmes so angestrebt werden sollte, daß möglichst alle vorkommenden Helligkeiten über den geraden Teil der Schwärzungskurve reproduziert werden. Nach Untersuchungen der Wild Heerbrugg AG gilt folgende Regel¹⁶⁾:

⁹⁾ Vgl. dazu Brock 1952, Bullock 1956, Clark 1946, Duntley 1948, Hulburt 1941, Middleton 1950.

¹⁰⁾ Horizontale Sichtweite rund 20 km.

¹¹⁾ Bei diesen Berechnungen wurde die Tatsache vernachlässigt, daß ein gewisser Prozentsatz des von den Objekten herkommenden Lichtes durch Streuung verloren geht.

¹²⁾ Alle diese Werte gelten für die normale Kombination panchromatischer Film / Gelbfilter. Die das Streulicht zum Teil kompensierende Wirkung des Filters ist also bereits einberechnet.

¹³⁾ Wiederum ist dabei als Vereinfachung der Streuungsverlust der Objekthelligkeiten unberücksichtigt geblieben.

¹⁴⁾ Der dort angegebene Wert von 20% zeigt die Luftlichthelligkeit in Prozent des hellsten Objektes im Gelände an (vgl. Brock 1952, p. 218, Tupper 1956).

¹⁵⁾ Vgl. Angerer 1956 (p. 30 ff.), Brock 1952 (p. 47 ff.), Mees 1946.

¹⁶⁾ Mündliche Mitteilung von Herrn Bock vom 19. 2. 1959.

Ein Film ist gut exponiert, wenn die Schatten (Abbildung der dunkelsten Flächen im Gelände auf dem Film) um rund 0,3¹⁷⁾ über dem Schleier (unbelichteter Filmrand) liegen. Für den Schleier kann ein mittlerer Wert von 0,15¹⁷⁾ angenommen werden. Für die von uns ausgewerteten Filmstreifen erhielten wir in dieser Hinsicht folgende Werte:

Tab. 7 Schleier und Schatten auf dem verwendeten Filmmaterial

	Mittel aus 15 Streifen	Minimum	Maximum
Schleier	0,18	0,12	0,31
Schatten über Schleier	0,31	0,09	0,61

Im Mittel entspricht somit dieses Filmmaterial den Erfordernissen für richtige Belichtung recht gut. Im einzelnen können die Abweichungen aber beträchtlich sein.

Positiv-Charakteristik. Ungefähr derselbe Prozeß wie im Quadranten II von Abb. 3 wiederholt sich nochmals im Quadranten III, wo die Schwärzungskurve des Kopierpapieres sich auf die Wiedergabe der Kontraste auswirkt. In Abb. 3 ist die Kurve für das Papier Ilford Contact Grade 2 dargestellt. Da unsere statistische Auswertung des Grautons auf den Negativen beruht, was einerseits eine genauere Messung ermöglichte und andererseits bereits einen kontrastverändernden Faktor eliminierte, brauchen wir hier nicht weiter auf den Kopierprozeß einzutreten.

4.4 Die Beleuchtungsverteilung in der Brennebene der Kamera

Alle Helligkeiten erleiden nun eine zusätzliche Abwandlung, die sich – unter Berücksichtigung des Sonnenstandes – als Funktion der Lage innerhalb der Photos ausdrücken ließe. Auch bei vollkommen diffuser Reflexion des Geländes würde sich eine typische Veränderung und Verteilung der Schwärzung ergeben. Dieser Effekt kann durch einen durch die Optik bedingten randlichen Lichtabfall erklärt werden. Wenn eine Kamera mit Schlitzverschluß verwendet wird, sind weitere zusätzliche Abwandlungen der Schwärzungsverteilung zu erwarten. Außerdem gibt es in einer Agrarlandschaft zum vornherein keine Objekte, die streng diffus reflektieren.

Reflexionscharakteristik des Geländes. Vegetationsbedeckte Oberflächen sind reflexionstechnisch

gesprochen »rau« und zeigen deshalb bei schrägem Einfall der Sonnenstrahlen deutlich eine Licht- und eine Schattenseite. Während die Remission senkrecht nach oben nahezu konstant bleibt (vgl. 4.3, p. 20), verändern sich die Reflexionsintensitäten in den schrägen Ausfallwinkeln in Abhängigkeit von der Tageszeit. Damit weist der Kontrast von Licht- zu Schattenseite eine deutliche Beziehung zur Sonnenhöhe auf. Außerdem ist er wesentlich vom Vegetationstyp abhängig, wie die Resultate von entsprechenden Reflexionsmessungen ergaben. Bei sinkendem Sonnenstand nimmt der Kontrast zu. Dies dürfte jedoch nur bis zu einem bestimmten Maximum der Fall sein¹⁸⁾, während nachher ein umgekehrter Effekt zu erwarten ist, da dann der Anteil der indirekten an der gesamten Beleuchtung immer stärker ansteigt.

Messungen an reifem Getreide, Wiesen und Hackfrüchten führten zu folgendem Schluß: Den relativ stärksten Kontrast zwischen Licht- und Schattenseite zeigen Getreidefelder, den kleinsten Hackfruchtäcker. Die Wiesen verhalten sich intermediär. In Abb. 4 ist als Beispiel die theoretische Schwärzungsverteilung aufgezeichnet, wie sie auf Grund der Reflexionscharakteristik von reifem Getreide bei einer Sonnenhöhe von 60° zu erwarten ist¹⁹⁾.

Objektivlichtabfall. Die für die Luftbildaufnahmen verwendeten Objektive haben einen Lichtabfall nach dem Rande, der in der Nachbarschaft der Funktion $\cos^4 \alpha$ liegt, wobei α der Winkel eines schräg durch die Optik gehenden Lichtstrahls mit der optischen Achse ist. Die Gründe für diesen Effekt werden hier nicht diskutiert. Es sei auf die zuständige Literatur verwiesen: z. B. Brock 1952 (p. 22 ff.), Kasper 1956, Schwidofsky 1956, Tate 1951, Wandersleb 1952, Aschenbrenner 1941. Das in Dübendorf verwendete Kodak Aero Ektar 7"-Objektiv weist einen ziemlich genau mit der $\cos^4$ -Regel übereinstimmenden Lichtabfall auf²⁰⁾. Abb. 5 zeigt die daraus resultierende Schwärzungsverteilung auf dem Negativ.

Die zwei verschiedenen Schwärzungsverteilungen in Abb. 4 und 5 können nun miteinander kombiniert werden und ergeben dann das in Abb. 6 gezeigte Bild. Die Linien gleicher Schwärzung sind elliptisch bis kreisförmig. Die Zone maximaler Schwärzung ist vom Zentrum der Photos gegen

¹⁷⁾ Bezieht sich auf die logarithmischen Einheiten der Schwärzungsskala.

¹⁸⁾ Nach unseren Messungen bis mindestens 30° Sonnenhöhe.
¹⁹⁾ Vgl. zur Reflexionscharakteristik des Geländes auch Kulebakin 1930 und Th am 1943.
²⁰⁾ Nach schriftlicher Mitteilung der Eastman Kodak Co., Rochester, vom 6. 10. 1958.

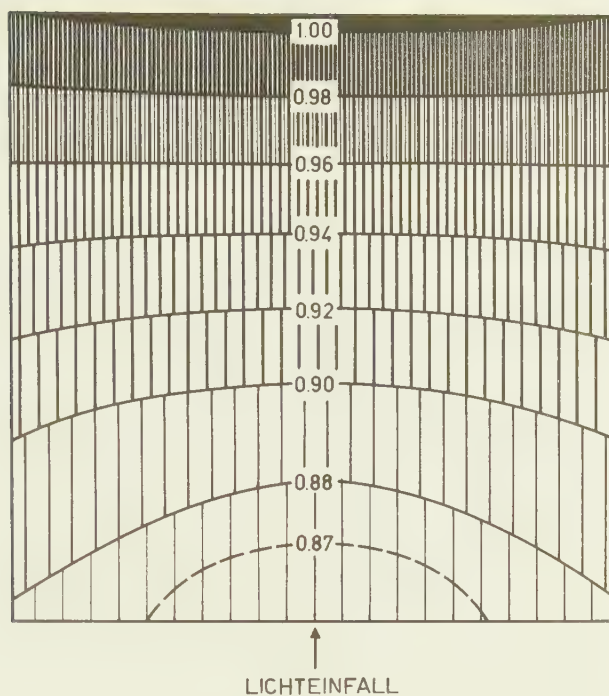


Abb. 4 Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion der Reflexionscharakteristik von reifem Getreide bei 60° Sonnenhöhe

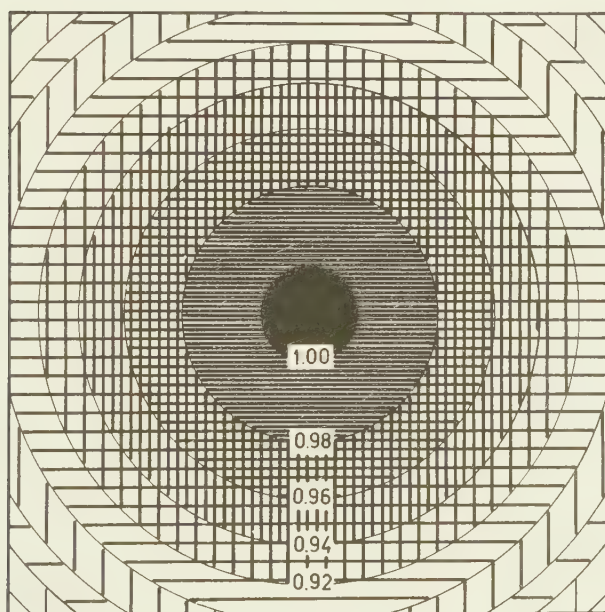


Abb. 5 Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion der Objektivcharakteristik (Kodak Aero Ektar 7'') bei Blende 2,5

den Rand verschoben und zwar in der Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen²¹⁾. Besonders auffallend ist der Bereich stärkster Schwärzung, wenn die Verlängerung der Achse Sonne-Flugzeug innerhalb des von der Photo erfaßten Ausschnittes auf

das Gelände auftrifft. An dieser Stelle verschwinden alle Schlagschatten, da vom Flugzeug aus gesehen nur die beleuchteten Seiten der Objekte erscheinen. Dieses Phänomen wird als Hotspot bezeichnet.²²⁾

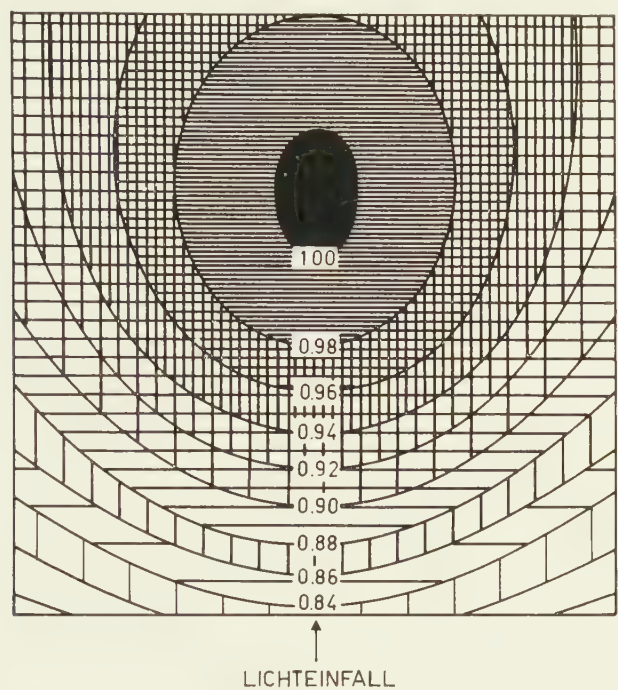


Abb. 6 Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion von Reflexionscharakteristik und Objektivcharakteristik (Abb. 4 und 5 kombiniert)

Schlitzverschluß. Die in Abb. 6 dargestellte Verteilung wird zusätzlich noch geändert, wenn die Aufnahmekammer mit einem Schlitzverschluß ausgerüstet ist. Dies war der Fall bei der in Düben-dorf verwendeten Kodak K-24-Kammer. Der bei diesem Verschlußprinzip arbeitende mit einer Öffnung versehene Vorhang wird durch eine Feder gespannt und erhält deshalb während des Ablaufs eine Beschleunigung. Wenn diese sich während der Belichtungszeit auswirkt, wird das Negativ ungleich stark geschwärzt. Die auf der Verschlußwirkung basierende Schwärzungsverteilung auf dem Negativ wäre in diesem Fall durch quer zur Ablaufrichtung verlaufende Linien gleicher Schwärzung wiederzugeben. Um die Verteilung darstellen zu können, müßte jedoch die Ablaufgeschwindigkeit des Verschlusses gemessen werden. Hier genüge die Feststellung, daß der Verschluß gegen die Flugrichtung abläuft und somit der im Moment der Aufnahme hinter dem Flugzeug liegende Ge-

ländeteil auf dem Negativ stärker exponiert erscheint²³⁾.

Die Überlagerung dieses Effektes über die in Abb. 6 gezeigte Verteilung wirkt sich folgendermaßen aus: Maximum und Minimum der Schwärzungsverteilung werden je nach der Orientierung der Flugrichtung gegenüber dem Sonnenstand verstärkt oder abgeschwächt. Die stärkste Erhöhung erfährt der Kontrast zwischen den beiden Seiten der Photos, wenn die Flugrichtung mit dem Sonnenazimut übereinstimmt, die stärkste Verminderung (die sogar eine reziproke Schwärzungsverteilung bewirken kann), wenn die Flugrichtung dem Sonnenazimut entgegengesetzt ist. Wenn sie die auf die Ebene projizierte Richtung der Sonnenstrahlen in einem rechten Winkel schneidet, bleibt der Kontrast erhalten. Dagegen geht dann die Symmetrie beidseits der durch die Strahlenrichtung gegebenen und durch die Bildmitte verlaufenden Symmetrieachse verloren.

²¹⁾ Unter der »Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen« wird hier die Projektion auf die Ebene verstanden.
²²⁾ Vgl. dazu Mason 1953.

²³⁾ Vgl. zur Wirkung des Schlitzverschlusses Cluff 1952 und Katz 1949.

Andere Faktoren. Weitere Faktoren, die die Schwärzungsverteilung nochmals ändern können, sind das Luftlicht, der Kopierprozeß und stärkere Änderungen der Geländeexposition im fotografierten Landschaftsausschnitt. Es scheint festzustehen, daß die Streuungsintensität des Luftlichtes eine Funktion des Winkels zur Einfallrichtung der Sonnenstrahlen ist²⁴). Es ist aber darüber nur wenig bekannt, und allgemeine Aussagen lassen sich nicht machen. Es wäre immerhin möglich, daß beim Zustandekommen des oben erwähnten Hotspots auch eine vermehrte Rückstreuung des Sonnenlichtes maßgebend ist.

Die Schwärzungsverteilung des Negativs bestimmt die Beleuchtungsverteilung auf dem Positiv beim Kopierprozeß. Wenn die Gradation des Papierses als 1,0 angenommen wird, werden die Helligkeitsabstufungen genau gleich im umgekehrten Sinne reproduziert. Eine Abänderung dieser Beleuchtungsverteilung ergibt sich, wenn die vom Kopiergerät gelieferte Beleuchtung inhomogen ist. Kopierverfahren mit inhomogener Beleuchtung werden angewendet, wenn allzustarke Schwankungen der Negativschwärzung ausgeglichen werden sollen.

Dies geschieht in unkontrollierbarer Weise bei Kopierapparaten mit multipler Lichtquelle (s. z. B. Tupper, Miller, Clark und Calhoun 1952 [p. 298 ff.]), in kontrollierbarer Weise bei den automatisch gesteuerten Geräten vom Typ Log-Etronic oder Kel-O-Wat (s. Craig 1955 und 1958, Watson 1958). Da wir für unsere Grautonauswertung jedoch direkt die Negative benützt haben, brauchen wir uns mit dem Kopierprozeß weiter nicht zu beschäftigen.

Starke Variationen der Geländeexposition gegenüber der Sonne können ebenfalls auf die Beleuchtungsverteilung in der Objektivbrennebene einwirken, indem dann der gleiche Objekttyp je nach seiner Lage auf dem Negativ hell (Schattenhang) oder dunkel (Sonnenhang) erscheint.

4.5 Die Schwärzungsmessungen und die Schwärzungsmittelwerte

Die Negativschwärzungen aller im Felde kartierter Nutzungseinheiten wurden mit einem Densitometer gemessen und die Meßresultate statistisch ausgewertet. Im folgenden wird die Technik der Messung, die Bildung der Mittelwerte und die

Kombination derselben zu einem einheitlichen Schema beschrieben.

Technik der Messung. Für die Schwärzungsmessungen diente ein objektives Ansco-Densitometer²⁵). Die jeweils benützte Öffnung wurde nach Möglichkeit der Größe des zu messenden Feldes angeglichen. So wählten wir für große Felder eine große Öffnung, um möglichst einen mittleren, von einer allfälligen Textur unbeeinflussten Grauton zu erhalten. Prinzipiell wurden alle auf einem Negativ auftretenden Felder gemessen. Infolge der Längsüberdeckung ergab es sich somit, daß wir für dasselbe Feld von verschiedenen Negativen zwei bis drei Meßresultate erhielten.

Bildung der Mittelwerte. Für die Bildung des Schwärzungsmittelwertes eines bestimmten Landnutzungstyps verwendeten wir sämtliche Parzellen, die auf dem Negativ innerhalb eines Kreises mit dem der halben Photoseitenlänge entsprechenden Radius lagen (= Felder 1–25 in Abb. 7). Einzig die in den äußersten Ecken liegenden Parzellen (in den Feldern 26–29 der Abb. 7) blieben unberücksichtigt, da dort die Interpretation durch den sich bereits auswirkenden Lichtabfall und den Schärfeverlust bedeutend erschwert ist und auf alle Fälle im praktischen Fall auf dem benachbarten Bild durchgeführt wird.

Nach dem bereits Gesagten über die Schwärzungsverteilung auf dem Negativ wäre zu erwarten, daß der Mittelwert wesentlich durch die Art dieser Verteilung beeinflusst wird. Es zeigte sich jedoch, daß die vom ganzen Negativ²⁶) gewonnenen Mittelwerte im allgemeinen weitgehend mit den nur auf dem Zentrum der Photos (= Feld 1 in Abb. 7) basierenden Mittelwerten übereinstimmten. Das ist deshalb der Fall, weil das Schwärzungsmaximum in den meisten Fällen nicht im Zentrum liegt, sondern gegen den Rand zu verschoben ist (s. 4.4, p. 22).

Für die Berechnung der Mittelwerte wurden direkt die aus dem Apparat abgelesenen logarithmischen Werte verwendet. Dieses Vorgehen ist an und für sich falsch, da logarithmische Werte nicht gemittelt werden können. Die Schwankungen der Schwärzungswerte waren jedoch für einen bestimmten Nutzungstyp nicht so groß, daß sich dadurch wesentliche Fehler ergeben hätten, und Vergleiche zeigten auch, daß Mittelwerte auf logarithmischer und solche auf numerischer Basis nicht allzu stark

²⁴) Vgl. dazu Brock 1952 (p. 200 ff.) und Hulburt 1941.

²⁵) Vom Photographischen Institut der ETH freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

²⁶) Mit Ausnahme der Ecken (s. oben).

voneinander abwichen. Die resultierende Ungenauigkeit wurde deshalb in Kauf genommen, da wir uns damit sehr zeitraubende Umrechnungen ersparen konnten.

Standardisierung der Mittelwerte. Damit die Mittelwerte von verschiedenen Filmstreifen untereinander vergleichbar wurden und in ein jahreszeitliches Schema eingeordnet werden konnten, war

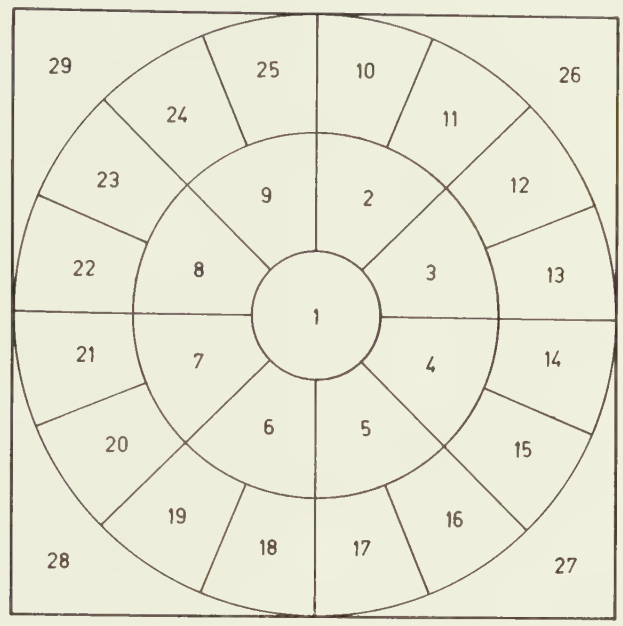


Abb. 7 Feldeinteilung auf dem Negativ. Die Felder 1–25 haben alle gleichen Flächeninhalt

es nötig, sie so zu korrigieren, als ob alle Negative unter einheitlichen, standardisierten Bedingungen entstanden wären. Wie wir gesehen haben, wirken sich auf die Mittelwerte in erster Linie die unter »Kontrastveränderungen« genannten Faktoren aus. Der Idealfall hätte sich ergeben, wenn für jeden einzelnen Fall die Filmschwärzungskurve (vgl. Abb. 3, Quadrant II) bekannt gewesen wäre. Es war denn auch unsere Absicht, auf jeden Filmstreifen vor der Entwicklung einen Graukeil mit bekannten Stufen aufzukopieren. Dieser hätte es gestattet, sowohl die in der Entwicklung erreichte Gradation zu bestimmen, wie auch weiter mit Hilfe bekannter Reflexionswerte im Gelände die charakteristische Dunstkurve einzuschneiden. Leider konnte dieses Verfahren nicht angewendet werden²⁷⁾, und wir mußten uns deshalb nach einer anderen Basis für die Kombination umsehen.

Wir suchten nach Objekten, deren Reflexion möglichst konstant und unabhängig war von der Jahreszeit, in der Meinung, daß deren entsprechende Schwärzungen auf dem Negativ sich als Fixpunkte eines Schemas eignen würden, in das dann alle übrigen Werte eingeordnet werden könnten. Die Resultate der Reflexionsmessungen ergaben, daß

Straßenoberflächen (je nachdem Asphalt- oder Naturstraße) und Naturwiesen mit einer Wuchshöhe von mehr als 20 cm²⁸⁾ die für diesen Zweck am besten geeigneten Objekte waren.

Der Film mit bekannter Schwärzungskurve diente nun als Basis für das Kombinationsverfahren. Die Schwärzungen der beiden Standardobjekte wurden zunächst über die Kurve auf die Helligkeiten der Beleuchtungsachse zurückgeführt, und anschließend wurde noch der Dunsteinfluß eliminiert. Die daraus resultierenden logarithmischen Helligkeitswerte dienten dann direkt als ideale Schwärzungswerte, indem ein Gamma von 1,0 angenommen wurde²⁹⁾. Außerdem wählten wir die Exposition

Personal- und Zeitmangel nur in einem einzigen Fall (Filmstreifen Nr. 4 in Tab. 2) zur Anwendung gelangen. Ebenso scheiterte ein zweiter Versuch, der darauf abzielte, mit Hilfe von Labortests (ausgeführt von Herrn Bock, Wild Heerbrugg AG) einen Zusammenhang zwischen Schleier und Gradation zu finden. Dieser hätte es erlaubt, nachträglich noch zwar nicht die genaue Schwärzungskurve, aber doch das Gamma zu ermitteln. Es erwies sich aber, daß die Schwankungen des Schleiers (wohl vor allem durch die Art der Lagerung bedingt) zu groß sind, als daß sich eine brauchbare Funktion ergeben hätte.

²⁸⁾ Reflexionsmessungen an Wiesen von verschiedener Wuchshöhe hatten das Resultat ergeben, daß mindestens von einer Höhe von 20 cm an die Helligkeit im Mittel konstant bleibt. Es scheint, daß die mit zunehmender Wuchshöhe an und für sich zu erwartende Abnahme der Reflexionsintensität (infolge Vergrößerung der Schattenflächen) durch eine stärkere Entfaltung der Pflanzen wieder kompensiert wird.

²⁹⁾ Die Annahme einer Filmgradation von 1,0 und einer Dunsthelligkeit von 0% hat den Vorteil, daß sich Helligkeitswerte aus dem Gelände direkt in Schwärzungen verwandeln lassen. Tatsächlich ist auch bei speziell für Zwecke der Nutzungsinterpretation aufgenommenen Bildern der Dunsteinfluß gering, da ein Maßstab von mindestens 1:10 000 erstrebenswert ist.

²⁷⁾ Dieses Verfahren ist prinzipiell technisch durchführbar, jedoch etwas umständlich und größeren Zeitaufwand erfordernd. In Dübendorf, wo die Filme entwickelt wurden, konnte es deshalb infolge von

des Filmes so, daß sicher alle bei der Landnutzungsinterpretation vorkommenden Objekte sich über den geraden Teil der Kurve abbilden würden. Schlußendlich erhielten wir folgende Schwärzungsfestpunkte:

Tab. 8 Ideale Schwärzungswerte der Standardobjekte

Objekt	Ideale Schwärzung
Fettwiese, Wuchshöhe über 20 cm	0,76
Asphaltstraße, trocken	1,27
Naturstraße, trocken	1,31

Den beiden Standardobjekten wurden nun auf allen anderen Filmstreifen dieselben Schwärzungswerte gegeben, was gegenüber den ursprünglichen eine Änderung des Kontrastes (Verkleinerung oder Vergrößerung der Differenzen) und der Belichtung (Verschiebung der Werte auf der Skala) zur Folge hatte. Alle übrigen Schwärzungen ergaben sich danach durch lineare Interpolation³⁰⁾.

Die größte Fehlerquelle, die diesem Verfahren anhaften dürfte, ist die Vernachlässigung der Kontrastdeformationen, wie sie durch die Wirkung des Dunstes und durch die Enden der Filmkurve entstehen. Immerhin war ja beim verwendeten Photomaterial der Dunsteinfluß gering, da es in niedrigen Flughöhen aufgenommen worden war, und zudem zeigte es sich, daß auch die Schwärzungen der in Frage kommenden Objekte zum größten Teil über dem Durchhang der Kurve lagen. Da das besprochene Kombinationsverfahren in unserem Fall die einzige noch anwendbare Methode war, mußten allfällige Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden.

Verlauf der Schwärzungskurven während der Vegetationszeit. Mit Hilfe der mit dem Standardisierungsverfahren ermittelten Schwärzungswerte und des phänologischen Grundschemas (s. 3, p. 17–18) wurden nun von der Jahreszeit abhängige Schwärzungskurven gezeichnet. Diese sind für die einzelnen von uns untersuchten Nutzungstypen in Abb. 8–18 dargestellt³¹⁾. Über den Verlauf dieser Kurven lassen sich folgende generelle Aussagen machen:

Alle Ackerfrüchte zeigen eine weitgehend übereinstimmende Entwicklung der Schwärzungskurve.

Von einem Maximum im Frühling sinkt die Kurve bis zu einem Minimum im Sommer, um dann wieder anzusteigen. Allerdings sind die Kurven zeitlich gegeneinander verschoben. Der erste Teil der Kurven (bis zum Minimum) wird durch die Wachstumsperiode bestimmt. Im Frühling wirkt sich zunächst noch der unbewachsene oder nur schwach bedeckte Boden aspektbildend aus und erzeugt auf den Negativen starke Schwärzungen³²⁾. Das Wachstum setzt am schnellsten bei der Winterfrucht (inkl. Raps) ein³³⁾. Der zunehmende Bedeckungsgrad des Bodens hat ein Abfallen der Reflexionsintensität und damit auch der Schwärzung zur Folge. Etwas später kommt derselbe Prozeß beim Sommergetreide in Gang, und noch weiter herbstwärts ist die entsprechende Entwicklungsphase der Hackfrüchte verschoben. Als Besonderheit fällt beim Raps die vorübergehende starke Schwärzungsspitze auf. Diese ist durch die Blütezeit bedingt, während der die Helligkeit der Felder wesentlich durch die hellen gelben Blüten bestimmt wird³⁴⁾. Als weiteres auffallendes Merkmal sei das kurze Ansteigen der Schwärzung bei Sommerweizen und Sommergerste im Zeitpunkt des Ährenschiebens genannt. Dieser Effekt ist offenbar auf eine kurze Zunahme der Helligkeit infolge eines momentanen Dominierens der hellen Ähren über die darunter liegenden Halme und Blätter zurückzuführen. Er wird dann bald durch das fortschreitende Wachstum wieder rückgängig gemacht³⁵⁾. Dann verweilen die Kurven eine Zeitlang auf ungefähr gleicher Höhe: Die Schwärzung nimmt kaum mehr ab, obschon das Wachstum noch nicht abgeschlossen ist. Diese Erscheinung muß wohl ähnlich wie die entsprechende bei den Wiesen erklärt werden (s. Fußn. 28, p. 25).

Nach dem Abschluß der Wachstumsperiode setzt der Reifeprozess mit zunehmendem Chlorophyllverlust ein. Dieser hat eine braune bis gelbe Verfärbung der Halme und Blätter zur Folge, was sich in einer wachsenden Reflexionsintensität und damit in einem Ansteigen der Schwärzung auswirkt. Diese Entwicklungsperiode beginnt wiederum am

³⁰⁾ Ein ähnliches Verfahren haben auch Kohn 1952–54 und Goodman 1954 und 1959 angewendet. Der Unterschied ist der, daß dort nur ein Objekt mit konstanter Reflexion als Bezugspunkt diente. Diese Methode erlaubt nur eine Korrektur der Exposition, nicht aber eine solche des Kontrastes, und ist somit ungenauer.

³¹⁾ Über den Zustand der Felder nach der Ernte s. Bemerkungen auf p. 77 f.

³²⁾ Unbewachsener Ackerboden ist nur in trockenem Zustand sehr hell. Man darf aber wohl annehmen, daß bei Luftaufnahmen, die bei sonnigem Wetter und hohem Sonnenstand gemacht werden, die Äcker auch bei vorhergehendem Regen mindestens oberflächlich abgetrocknet sind.

³³⁾ Hier konnte die Periode, in der sich praktisch nur der Boden auf das photographische Abbild auswirkt, nicht berücksichtigt werden.

³⁴⁾ Im Schwärzungsdiagramm sind an dieser Stelle umgerechnete Reflexionswerte eingesetzt, da photographische Unterlagen für diesen Zeitpunkt fehlten.

³⁵⁾ Dieser Effekt konnte auch im Laufe der Reflexionsmessungen bei allen Getreidearten außer dem Hafer mehr oder weniger deutlich festgestellt werden. Die Deutlichkeit des Phänomens wird zum Teil davon abhängen, wie gut der entscheidende Zeitpunkt bei den Messungen erwischt wurde.

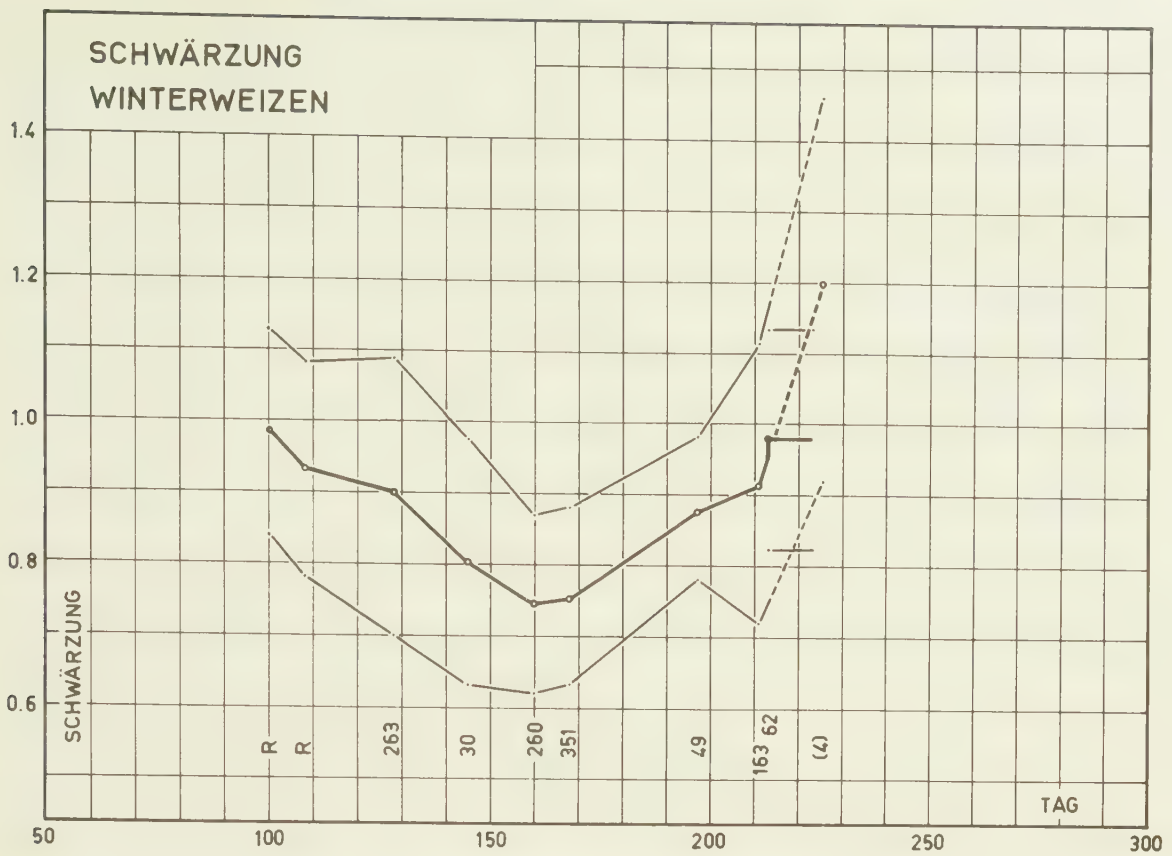


Abb. 8 Schwärzungskurve für Winterweizen

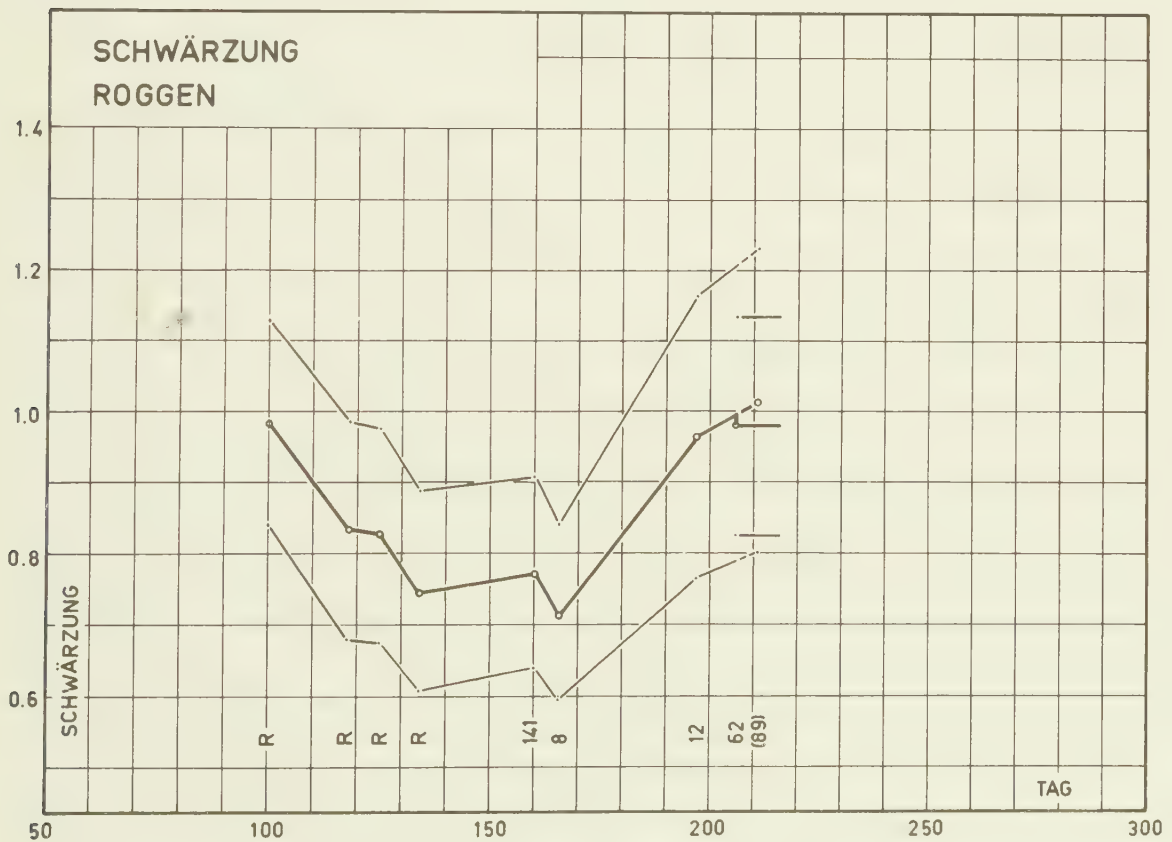


Abb. 9 Schwärzungskurve für Winterroggen

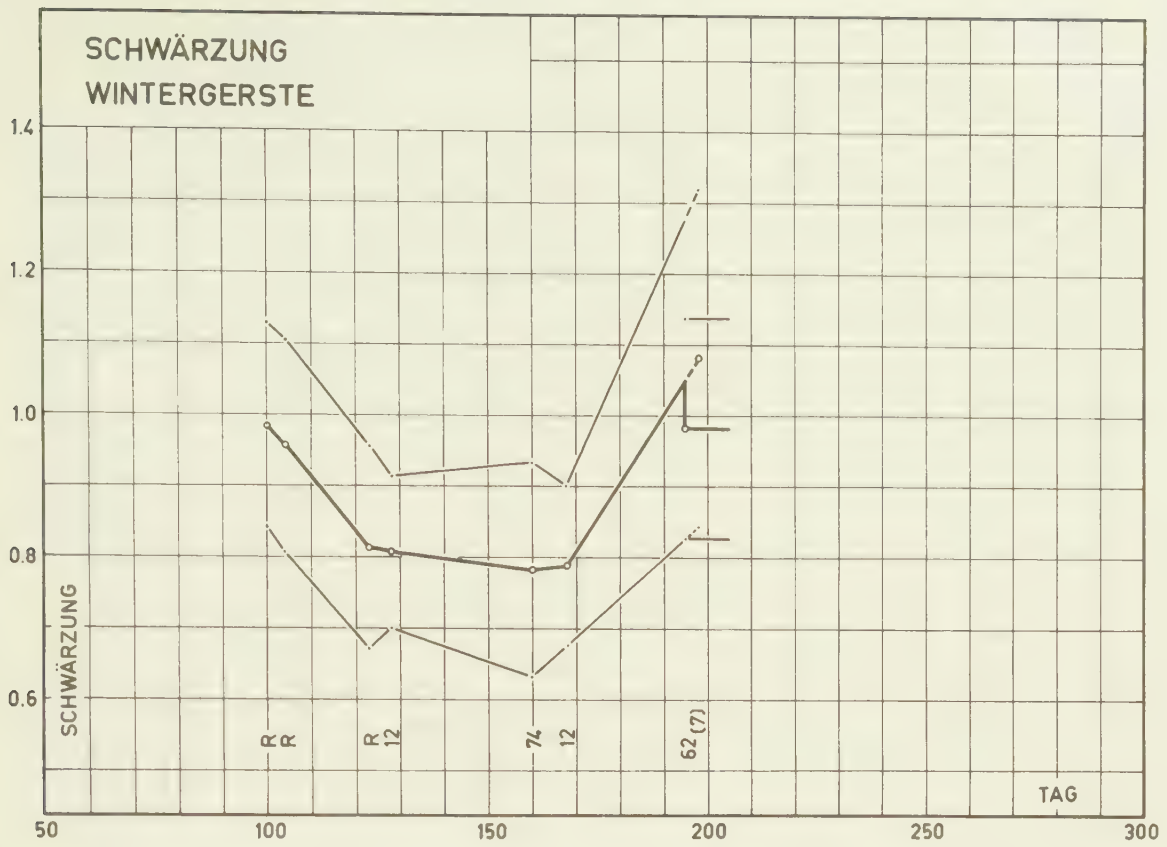


Abb. 10 Schwärzungskurve für Wintergerste

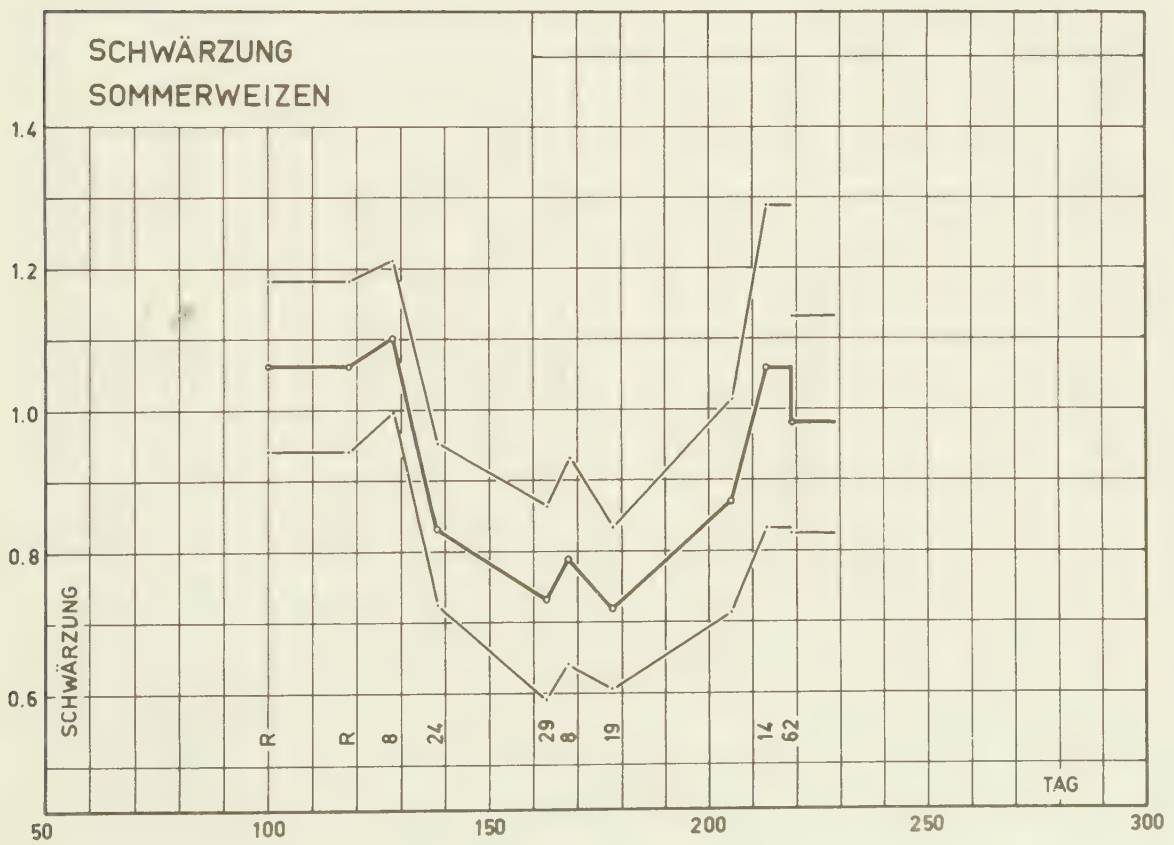


Abb. 11 Schwärzungskurve für Sommerweizen

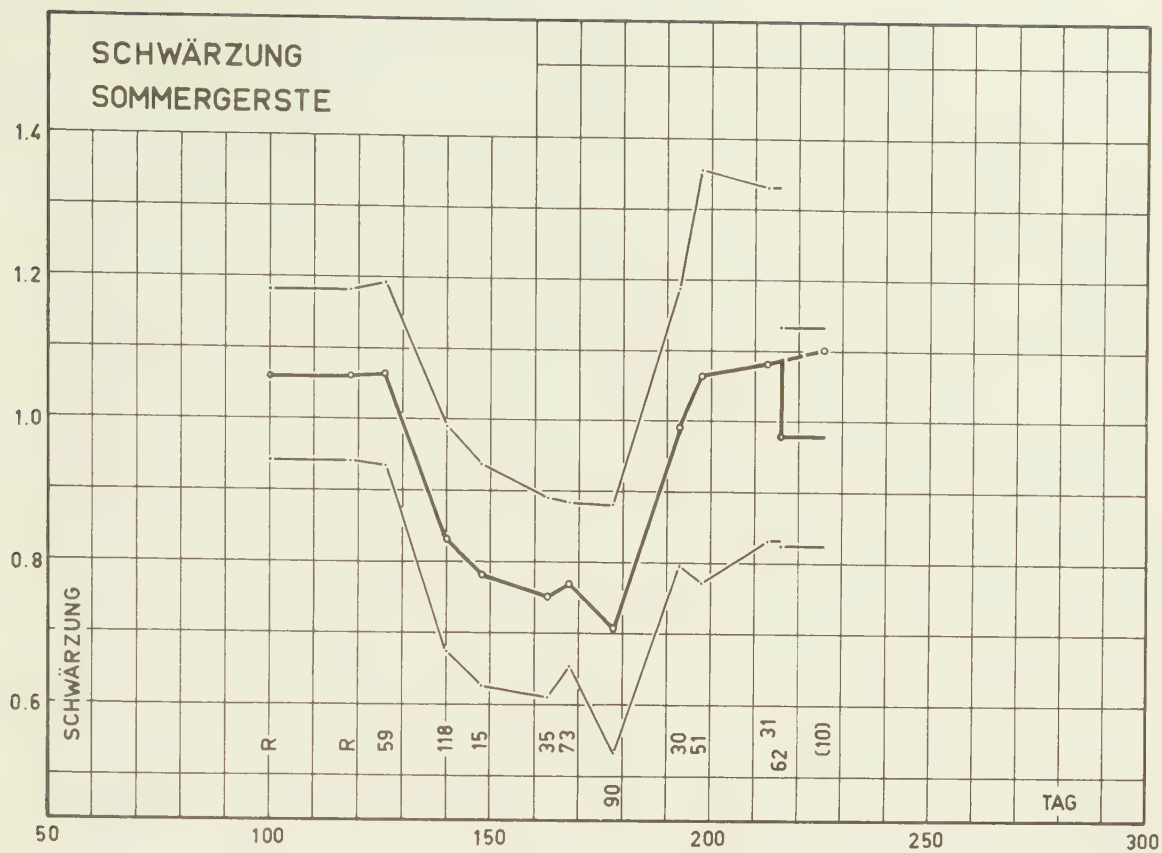


Abb. 12 Schwärzungskurve für Sommergerste

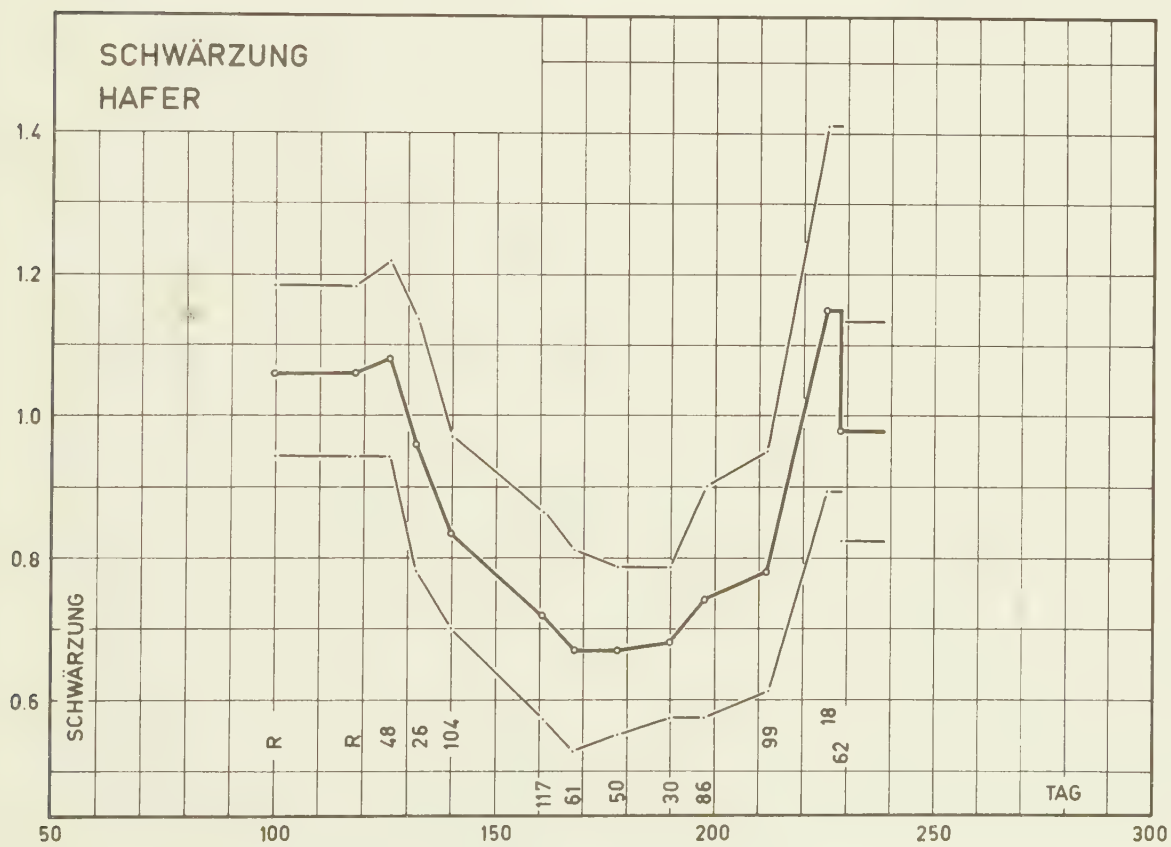


Abb. 13 Schwärzungskurve für Hafer

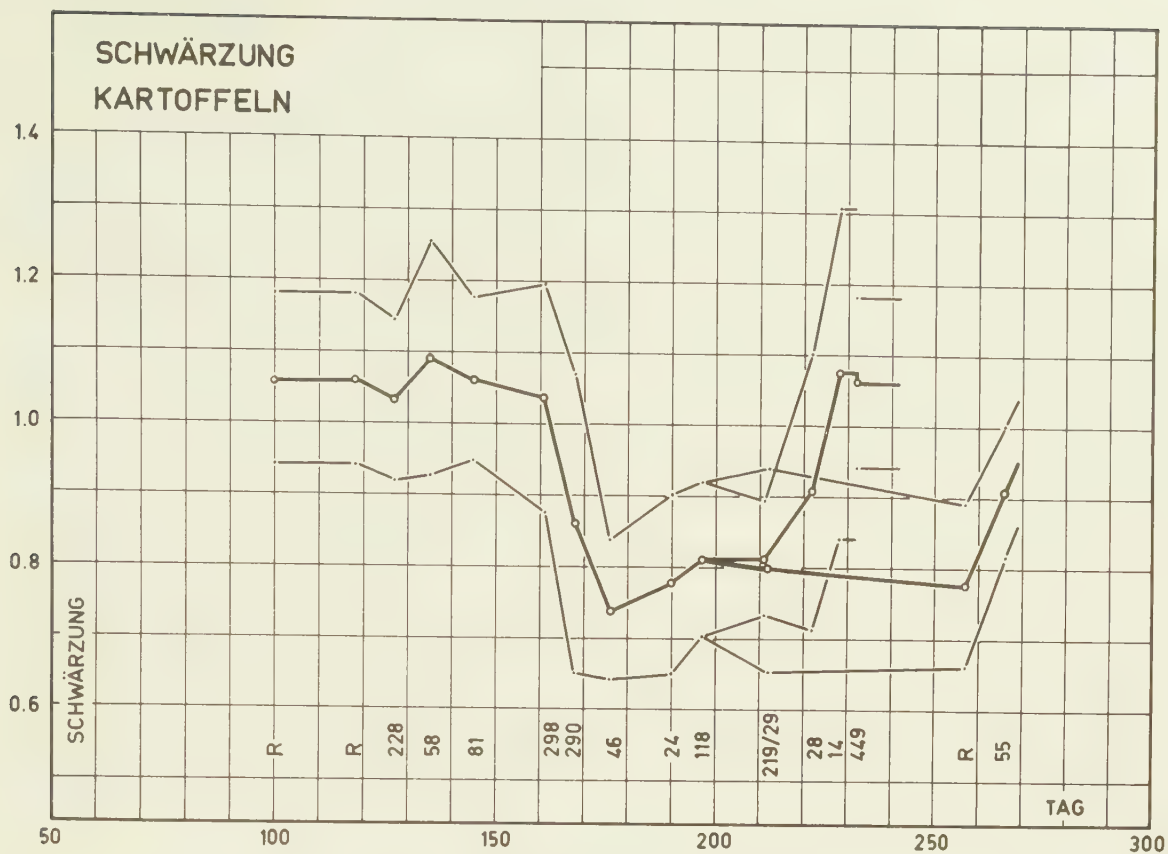


Abb. 14 Schwärzungskurve für Kartoffeln

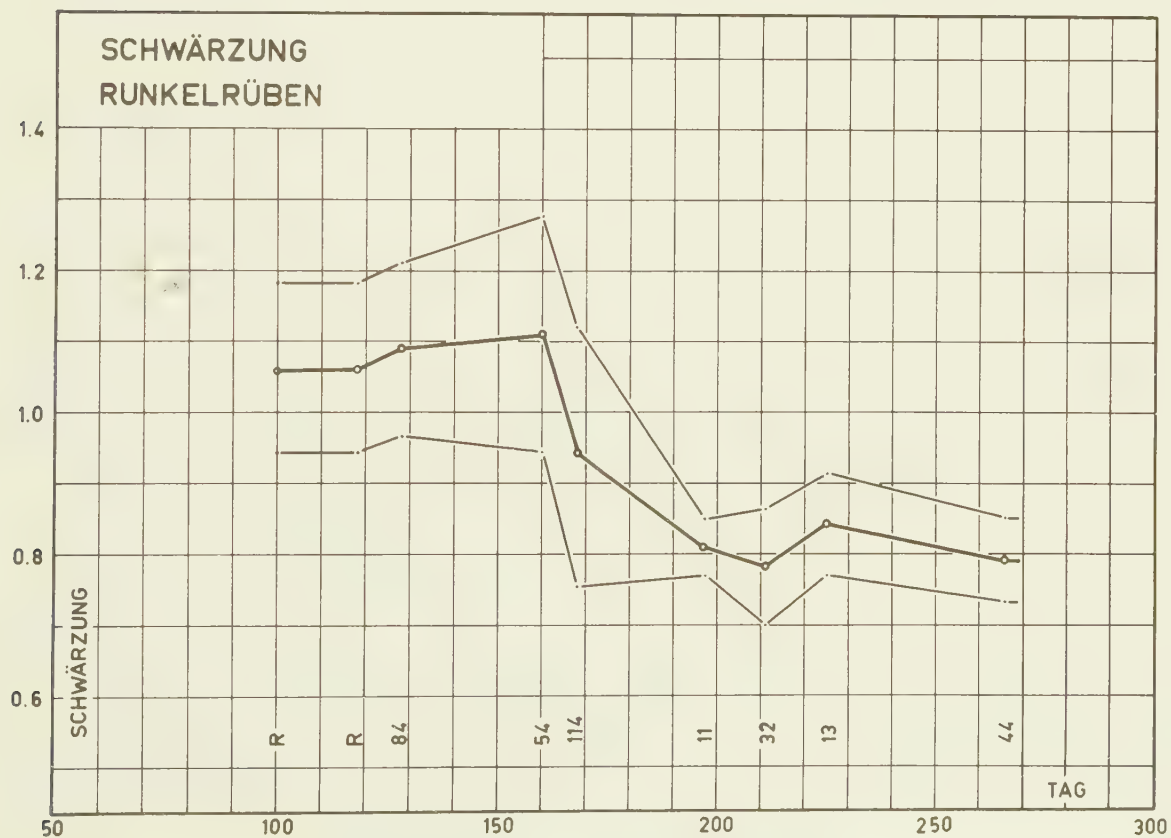


Abb. 15 Schwärzungskurve für Runkelrüben

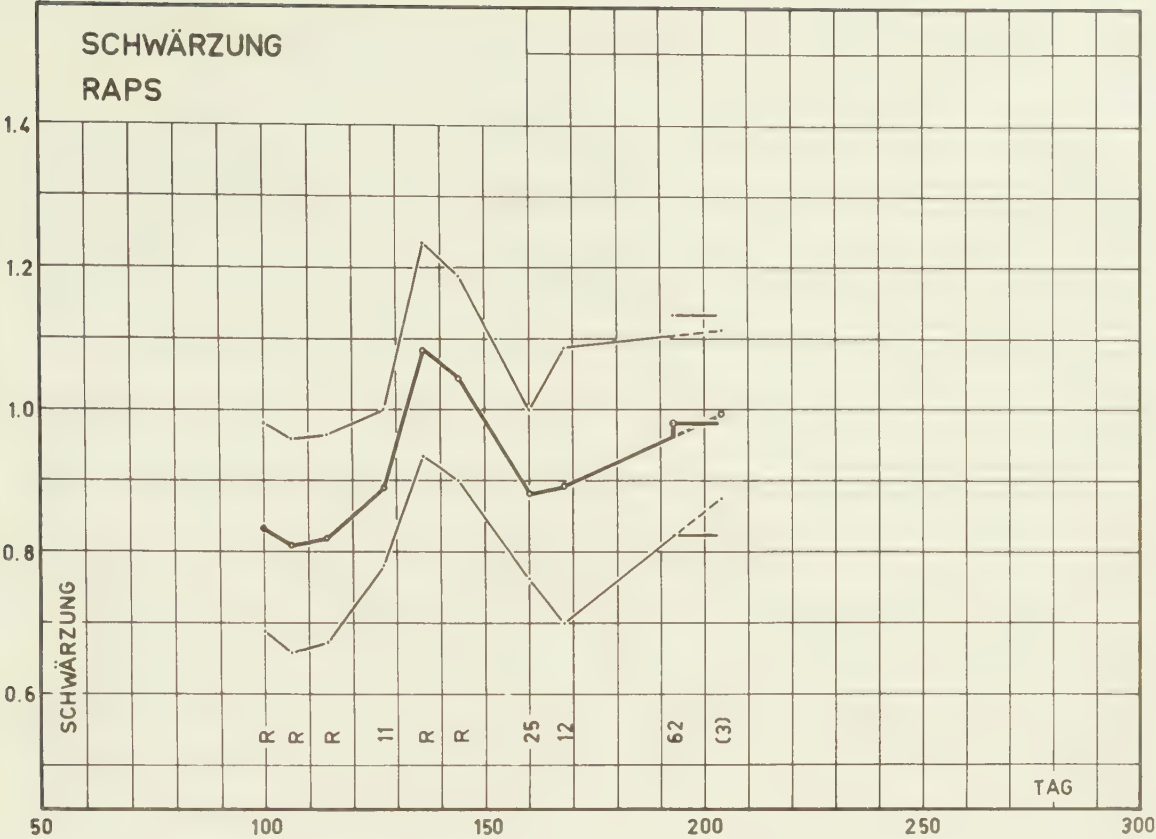


Abb. 16 Schwärzungskurve für Raps

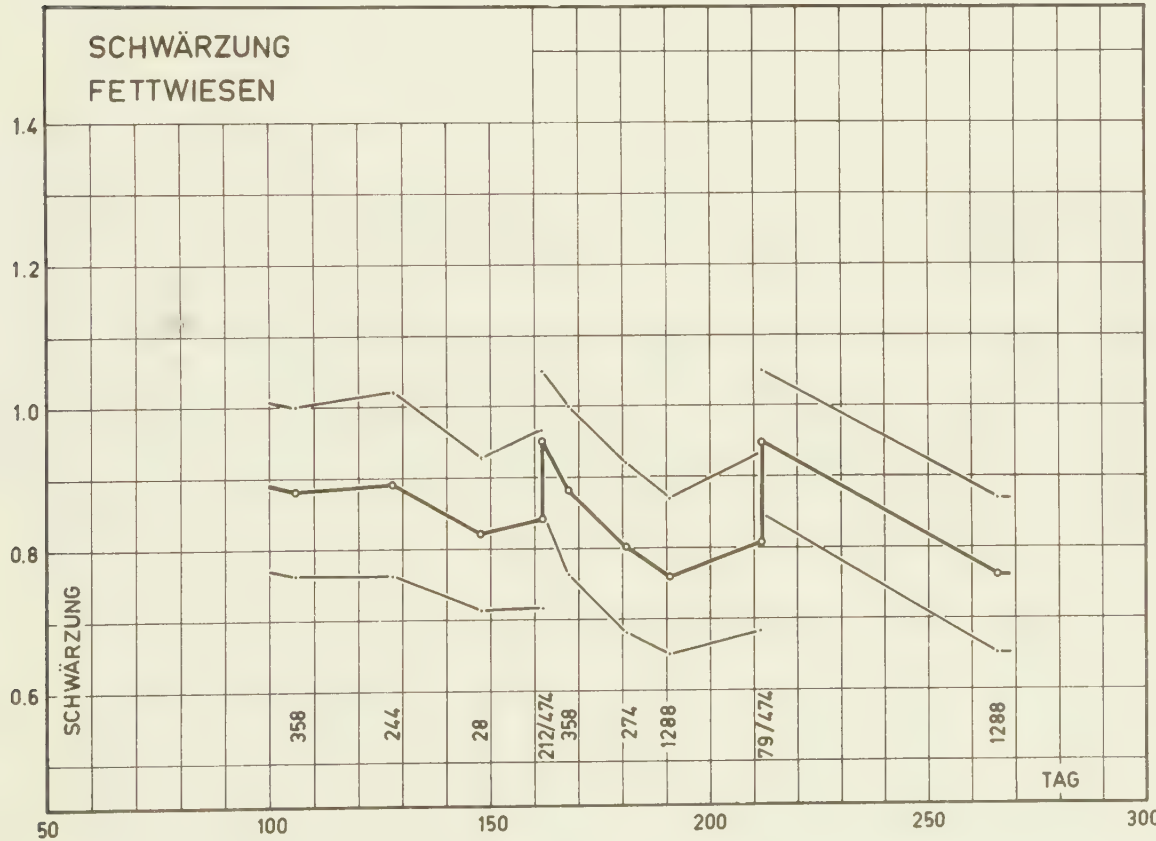


Abb. 17 Schwärzungskurve für Naturwiese

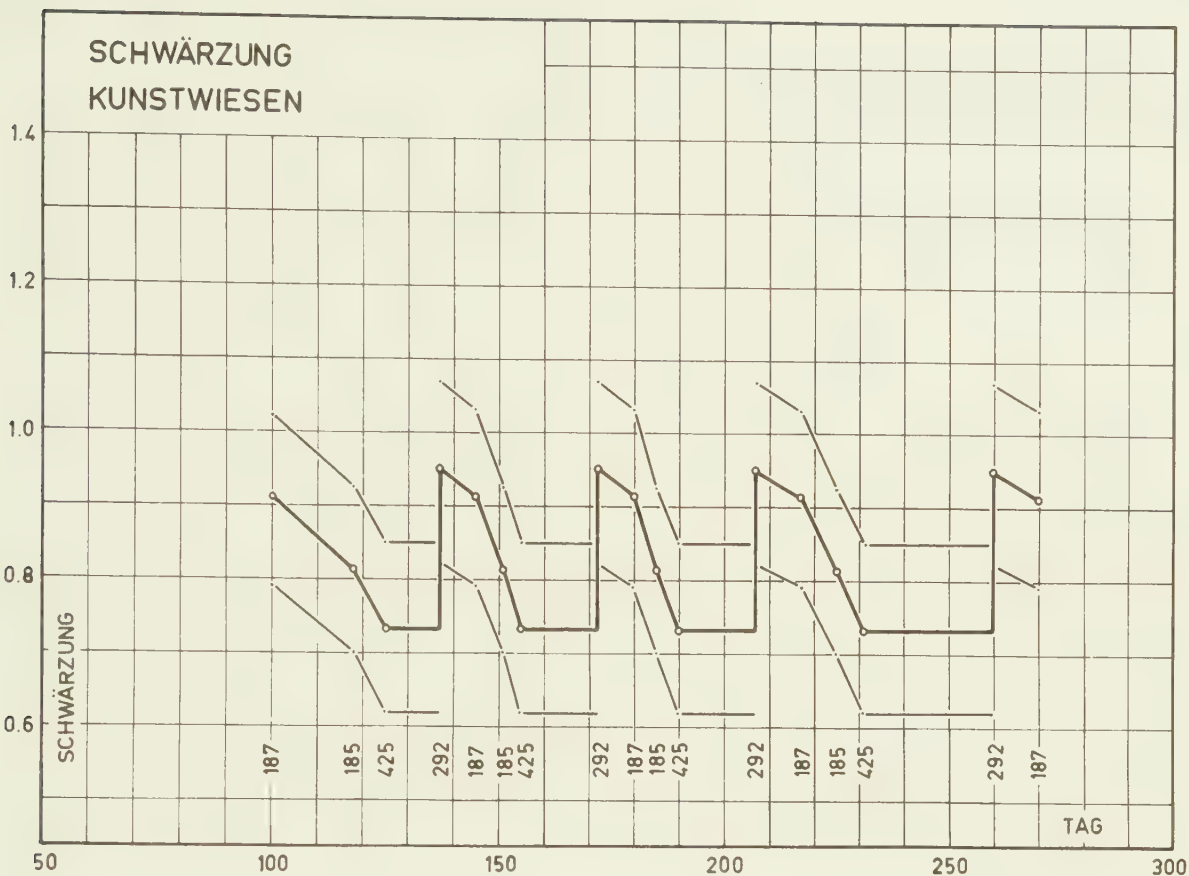


Abb. 18 Schwärzungskurve für Kunstwiese

Erklärungen zu Abb. 8–18:

Die Werte auf der Schwärzungsachse bezeichnen die Schwärzungen auf dem Negativ, umgerechnet auf das ideale Schema (vgl. p. 26). Sie können unter Annahme eines bestimmten Kopierprozesses ohne weiteres in Positivgrautöne verwandelt werden.

Die Werte auf der Zeitachse beziehen sich auf die Tage ab Neujahr. Aus Tab. 12 in der Beilage können die zugehörigen Daten sofort entnommen werden.

Die Zahlen unter den gezeichneten Meßpunkten der Kurve geben die Anzahl der Messungen an, die für die Bildung des Mittelwertes und der zugehörigen Streuung verwendet werden konnten.

Falls eine solche Zahl in Klammern steht, bezieht sie sich auf Kulturen, die nach dem mittleren Erntedatum noch ungeerntet sind. Die Kurve ist in diesem Fall gestrichelt gezeichnet.

R bedeutet, daß umgerechnete Mittelwerte aus Reflexionsmessungen übernommen wurden, weil für die betreffenden Daten keine oder zu wenig Auswertungen aus photographischem Material zur Verfügung standen.

Die gezeichnete Variationsbreite umfaßt $M \pm 2s$, wobei M der Mittelwert und s die Streuung ist.

frühesten bei der Winterfrucht, dann folgen die Sommergetreide und zuletzt die Kartoffeln. Einzig die Runkelrüben zeigen bis zur Ernte keine wesentliche Verfärbung des Laubes und folglich auch keine Veränderung in der Schwärzung. Wieweit die Zunahme der Schwärzung bei den Getreiden geht, ist weitgehend von ihrem Zustand abhängig. So erscheinen Windwurfstellen, bei denen die auf dem Boden liegenden Halme eine mehr oder weniger zusammenhängende Fläche bilden, im Anfang des Reifeprozesses bedeutend heller (= stärkere Schwärzung) als die stehende Frucht. Sie sind dann zu dieser Zeit auch deutlich als scharf begrenzte Flecken erkennbar (vgl. 5.5, p. 33). Später kann dann die Helligkeit des vollreifen Getreides so stark ansteigen, daß der Unterschied gegenüber allfälliger Lagerfrucht verwischt wird. Meistens ist das frisch abgeerntete Stoppelfeld dunkler (geringere Schwärzung) als das Getreide vor der Ernte, da dann normalerweise eine mehr oder weniger starke Verunkrautung zum Vorschein kommt³⁶⁾. Das Kartoffelndiagramm (Abb. 14) zeigt für den Reifevorgang zwei verschiedene Kurven, die eine für die Früh-, die andere für die Spätkartoffeln³⁷⁾. Vorher unterscheiden sich die beiden Sorten nicht wesentlich, so daß eine gemeinsame mittlere Kurve angenommen wurde. Für den Zustand der Kartoffeläcker nach der Ernte wurde der Aspekt von unbewachsenem Ackerboden als maßgebend betrachtet.

Die Wiesen sind am hellsten (stärkste Schwärzung) in frisch geschnittenem Zustand, wenn das Heu noch ausgebreitet liegt³⁸⁾. Mit dem Einsetzen des Wachstums nimmt auch hier die Reflexion (und damit die Schwärzung) ab bis zu einem Wert, der sich dann nicht mehr wesentlich verändert. Dieser Effekt wird durch eine Aufhellung überlagert, wenn massenhaft hell blühende Pflanzen auftreten.

In diesem Sinne aspektbildende Pflanzen kommen vor allem in der (Fett-)Naturwiese vor dem Heut und etwas weniger auffallend auch im Emdaspekt vor (s. 5.5, p. 34). Aber auch alte, mehrjährige Kunstwiesen erhalten oft ein ähnliches Aussehen³⁹⁾.

4.6 Die Streuungen der Schwärzungswerte

Neben dem jahreszeitlichen Verlauf der Schwärzungsmittelwerte ist für unsere Untersuchungen auch die Kenntnis der Streuungsmasse von größter Wichtigkeit, indem erst damit später Unterscheidbarkeiten ermittelt werden können.

Bildung der Streuungswerte. Unter Streuung verstehen wir den in der Statistik üblichen Begriff, nämlich⁴⁰⁾:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- $\bar{x}$ = Schwärzungsmittel
- x_i = individuelle Schwärzungen
- n = Anzahl der Messungen

In Analogie zur Berechnung der Mittelwerte wurden auch zur Ermittlung der Streuungen direkt die vom Densitometer abgelesenen logarithmischen Werte verwendet. Dies ist natürlich wiederum mit einer gewissen Ungenauigkeit verbunden, da ein auf dem normalen Wege gewonnenes und in eine logarithmische Skala übertragenes Streuungsmaß sich nicht beidseits des Mittelwertes symmetrisch abbilden würde. Zur Bildung der Streuungen wurden, genau gleich wie bei den Mittelwerten, alle innerhalb der Negativfelder 1–25 (s. Abb. 7) liegenden Schwärzungen herangezogen.

Vereinheitlichung der Streuungswerte. Eine erste Vereinheitlichung der Streuungen erfolgte damit, daß – analog zur Anordnung der Schwärzungsmittelwerte auf der idealen Skala (s. 4.5, p. 26) – alle je nach Kontrast und Exposition des Films eine Korrektur erfuhren. Diese korrigierten Werte konnten nun aber noch nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden, da die Streuungen außerdem noch wesentlich von der Schwärzungsverteilung auf dem Negativ abhängen.

³⁶⁾ Einen Spezialfall stellen auch die Getreidefelder mit Einsaat dar. Hier darf wohl, unter Annahme eines mit dem dritten Kunstwiesenschnitt (Tag 207) ungefähr zusammenfallenden mittleren Getreideerntedatums, die Entwicklung des Stoppelaspektes als derjenigen der Kunstwiesen ähnlich betrachtet werden.

³⁷⁾ Früh und spät sind hier nur relative Begriffe, und da es Übergänge gibt, lassen sich die beiden Sorten nicht klar trennen. Für die Frühkartoffeln wurde ein mittleres Erntedatum eingesetzt, wie wir es in der Nähe von Zürich als zutreffend fanden. Man beachte aber, daß z. B. im Genferseegebiet auch bedeutend früher reifende Kartoffeln angebaut werden (nach Eidgenössisches Statistisches Amt 1959, p. 52).

³⁸⁾ Dieser Zustand ist in den Kurven nicht berücksichtigt worden, da er in seiner Dauer stark vom Wetter beeinflusst wird. Übrigens zeigten die Reflexionsmessungen im Gelände, daß zwischen frischem und dürrtem Heu in bezug auf die Helligkeit kein wesentlicher Unterschied besteht.

³⁹⁾ Die Schwärzungskurven für die Wiesen wurden im Prinzip nicht direkt aus den auf den einzelnen Streifen errechneten Gesamtmittelwerten gebildet. Dies war deshalb nicht möglich, weil in Wirklichkeit die Mähdaten stark variieren und somit der individuelle Zustand an einem Stichtag eine große Schwankungsbreite aufweist, die sich nicht mehr mit einer zufälligen Verteilung ausdrücken läßt. Wir wählten deshalb den Umweg über eine Einteilung der Wiesen in Wuchshöhenklassen (0–5, 6–10, 11–20, über 20 cm), für die aus den gesamten verfügbaren Meßresultaten die Schwärzungsmittelwerte berechnet und gemäß der mittleren Wuchskurve (s. Abb. 1) zur Schwärzungskurve zusammengestellt wurden. Einzig bei der Naturwiese wurden für die Zeiten, in denen aspektbildende Pflanzen auftreten, die Werte direkt aus den entsprechenden Negativen übernommen. In Wirklichkeit ist also eine bedeutend größere Variationsbreite zu erwarten.

⁴⁰⁾ S. z. B. Fisher 1937, Linder 1957.

Um den Einfluß der ungleichen Schwärzungsverteilungen auf die Streuungen weitgehend ausschalten zu können, führten wir die »individuelle Streuung« ein, die den Schwankungen der Schwärzungswerte innerhalb eines Negativfeldes (s. Abb. 7) entspricht. Wenn man annimmt, daß sich innerhalb eines derartigen Feldes die Lokalfaktoren und die die Beleuchtungsverteilung in der Brennebene bestimmenden Faktoren nicht grundlegend ändern, ist die individuelle Streuung in erster Linie durch die bei einem bestimmten Nutzungstyp immer auftretenden Variationen des Entwicklungszustandes⁴¹⁾ bedingt. Der individuellen stellten wir die »totale Streuung« entgegen, die vom ganzen Negativ (ohne Ecken, also Felder 1–25) gewonnen wurde und die außer von den Entwicklungsschwankungen zusätzlich noch von der Art der Schwärzungsverteilung auf dem Negativ beeinflusst wird.

Die individuellen Streuungen wurden wie folgt berechnet: Für alle Nutzungstypen, die genügend oft auftraten und in zufälliger Weise über das ganze Negativformat verteilt waren, ermittelten wir die Streuungen für die in den einzelnen Negativfeldern vorkommenden Parzellen. Die derart gewonnenen Streuungswerte wurden pro Filmstreifen und Nutzungstyp gemittelt, womit wir den wahrscheinlichsten Wert für die individuelle Streuung erhielten. Einige der untersuchten Landnutzungstypen waren jeweils, je nach Region, nicht in einer genügenden Anzahl von Parzellen vertreten, so daß sich diese Art der Berechnung als unmöglich erwies. Für alle diese Fälle bestimmten wir mit Hilfe der bereits ausgerechneten Werte einen mittleren Umrechnungsfaktor von totaler zu individueller Streuung und wendeten diesen auf die weniger häufigen Nutzungstypen an.

Der Grad des Umrechnungsfaktors hängt nun vor allem mit der Orientierung der Flugrichtung gegenüber dem Sonnenazimut zusammen (vgl. 4.4, p. 23). Wir teilten in dieser Hinsicht die untersuchten Streifen grob in zwei Gruppen ein und erhielten dafür folgende Umrechnungsfaktoren⁴²⁾: 1. Flugrichtung gegen die Sonne: Mittel 0,62; Extrema:

0,50 und 0,74. 2. Flugrichtung von der Sonne weg: Mittel 0,83; Extrema: 0,76 und 0,90. Verallgemeinernd kann der folgende Schluß gezogen werden: In Fall 1 können 50–75 %, in Fall 2 75–100 % der totalen durch die individuelle Streuung erklärt werden. Unsere nachfolgende Untersuchung der Unterscheidbarkeit verschiedener Kulturen beruht nun auf den kleineren individuellen Streuungen. Für die praktische Interpretation ergeben sich daraus folgende Konsequenzen:

1. Bei der Benützung eines Grautonschlüssels, der auf den individuellen Streuungen aufgebaut ist, dürfen immer nur mehr oder weniger benachbarte Felder miteinander verglichen werden. Die Schwärzungsverteilung und die damit zusammenhängenden Verschiebungen der Mittelwerte mit den zugehörigen Streuungen auf der Schwärzungsskala müssen bekannt sein und berücksichtigt werden⁴³⁾.

2. Falls Luftbilder speziell im Hinblick auf eine Landnutzungsinterpretation aufgenommen werden, ist eine photographische Technik zu wählen, die möglichst geringe Veränderungen in der Schwärzungsverteilung auf dem Negativ ergibt.

Jahreszeitliche Aspekte. Im großen und ganzen sind die Veränderungen der Streuungen nicht so groß, als daß sich eine eindeutige Abhängigkeit der Streuungsgröße von der Jahreszeit resp. von bestimmten Entwicklungsstadien der Kulturen herauslesen ließe. Eine allgemeine Aussage kann aber auf alle Fälle gemacht werden: Die Streuung ist dann erwartungsgemäß am größten, wenn sich der Mittelwert der Schwärzung am schnellsten verändert, d. h. wenn die Schwärzungskurve die größte Steigung aufweist. Folgedessen sind erhöhte Streuungen während der Wachstumsperiode (absteigende Kurve) und während der Reifezeit (aufsteigende Kurve) zu erwarten (vgl. Abb. 8–18). Im zweiten Fall ist nun die Zunahme der Streuung, die bis zur Ernte andauert, bei vielen Kulturen recht deutlich. Namentlich bei den Getreiden (s. Abb. 8–13) ist sie ziemlich auffallend. Sie hängt dort nicht in erster Linie von der Steigung der Schwärzungskurve ab, sondern vom Zustand der Felder, der bis zur Ernte eine immer größere Variabilität (Lagerfrucht, Verunkrautung) aufweist.

⁴¹⁾ Differenzen der Anbaudaten, Unterschiede in der Qualität der betreffenden Kultur usw.

⁴²⁾ Umrechnungsfaktor = Individuelle in Bruchteilen der totalen Streuung.

⁴³⁾ Diese Beschränkung fällt natürlich weg, wenn individuelle und totale Streuung ganz oder nahezu übereinstimmen.

5. Die Textur

5.1 Definition

Texturen ergeben sich aus Variationen des Grautons innerhalb von Landnutzungseinheiten. Im allgemeinen können dabei einzelne Texturkomponenten von einem mehr oder weniger gleichmäßig getönten Untergrund unterschieden werden. Die Texturen gehen auf verschiedene Ursachen zurück, vor allem etwa auf kleinräumige Veränderungen der Lokalfaktoren (z. B. Feuchtigkeitsgehalt des Bodens), auf die Art des Pflanzeninhaltes (z. B. hell blühende Pflanzen in Wiesen) oder auf die Art der Kultivierung und Nutzung (z. B. Ackerfurchen, Saatreihen, Mähstreifen, Puppen).

Der Begriff »Textur«¹⁾ soll wie folgt definiert werden: Die Textur ist eine Anordnung von dunklen Komponenten auf hellem Grund oder umgekehrt. Sie kann durch die Eigenschaften dieser Komponenten beschrieben werden, nämlich räumliche Verteilung und Orientierung, Form, Größe, Dichte, Kontrast gegenüber Umgebung und Qualität des Umrisses.

5.2 Die Frage der Systematik

Auf Grund der gegebenen Definition können Gesichtspunkte für die Aufstellung einer speziell auf die Landnutzungsinterpretation zugeschnittenen Textursystematik abgeleitet werden. Beispielsweise ist es möglich, die Texturen nach den obengenannten Eigenschaften ihrer Komponenten zu klassifizieren. Dabei scheint eine primäre Einteilung nach der Form am besten zu sein, etwa wie folgt:

1. Linientexturen = Texturen, die aus Linien oder Streifen gebildet werden.
2. Punkttexturen = Texturen, die aus mehr oder weniger kreisförmigen Komponenten geringer Dimension bestehen.
3. Fleckentexturen = Texturen, die aus größeren Komponenten ohne regelmäßige geometrische Form zusammengesetzt sind.

Eine systematische Klassifikation der Texturen wäre im Hinblick auf ihre Verwendung für den Aufbau von Interpretationsschlüsseln wünschenswert. Derartige Schlüssel sollten so zusammengestellt sein, daß auch unerfahrene Interpretatoren sie verstehen und anwenden können. Die Hauptschwierigkeit bei der Beschreibung und Klassifizierung der Texturen liegt darin, daß die Subjektivität nicht ausgeschaltet werden kann. Es dürfte kaum gelingen, die Texturen ähnlich wie die Grautöne in einem objektiven System einzuordnen.

Vorläufig scheint es immer noch am besten zu sein, typische und eindeutige Texturen in Form von direkten photographischen Ausschnitten in einem Auswahlkatalog zusammenzustellen²⁾. Dieses Verfahren wurde auch in unserer Arbeit angewendet, indem wir uns auf einige möglichst typische und unverkennbare Texturen beschränkten, auf denen dann die statistische Auswertung aufgebaut wurde. Es ergibt sich daraus ohne weiteres, daß die Grundlagen für die Ermittlung der für die Interpretation geeignetsten Jahreszeiten nicht durchgehend gleichwertig sind. Beim Grauton sind sie objektiver, bei der Textur und dann auch beim Stereoeffekt subjektiver Art. Diese Uneinheitlichkeit war unumgänglich.

²⁾ Auch in der bisherigen Literatur wird das Problem von praktisch verwendbaren Texturklassifikationen und -verschlüsselungen als Mangel empfunden. Verschiedentlich werden Verbesserungsvorschläge gemacht: Colwell 1952 schlägt auch für die Textur die Verwendung von Standardskalen vor und stellt sich darunter eine Reihe von photographischen Ausschnitten vor, die z. B. mehrmals den gleichen Vegetationstyp bei immer kleiner werdendem Maßstab zeigen. Für die Praxis müßten verschiedene Skalen für den gleichzeitigen Gebrauch konstruiert werden. Simontacchi, Choate und Bernstein 1955 betonen ebenfalls, daß Skalen für die Beschreibung der Bildeigenschaften wünschbar wären, weisen aber auf die Schwierigkeiten der Texturverschlüsselung hin. O'Neill 1953 macht den Vorschlag, zur Verbesserung der Texturterminologie Textilmusterkataloge zu verwenden. Havemann 1937 beschreibt die Darstellung von Waldtexturen mit Hilfe eines Mikrodensographen, der kleinräumige Schwärzungsveränderungen in Form von Kurven aufzeichnet. Diese Methode würde eine objektive Qualifizierung der Texturen ermöglichen. Es ist aber fraglich, ob die damit erzielte Verbesserung den großen Aufwand an Zeit und Arbeit rechtfertigen würde. In der Praxis hat man sich bisher darauf beschränkt, die Texturen durch möglichst markante Bezeichnungen zu charakterisieren, die für den Benutzer anschaulich sind, so z. B. »coarse«, »woolly«, »fleece«, »linear«, »mottled«, »dotted« (Brunnschweiler 1957); »botroydal« (Eardley 1941); »carpety«, »rough-grained«, »velvety«, »pepper-and-salt« (Goodfellow 1955); »lined«, »plaid-like«, »corduroy«, »striped«, »nubby«, »lacy« (Kohn 1952-54 und Goodman 1954); »fein- und grobkörnig«, »wolkig« (Müller-Miny 1953); »fluffy« (Raup 1950); »bristly«, »peppery« (Smith 1943).

¹⁾ Derselbe Ausdruck wird auch in der angelsächsischen Literatur gleichsinnig verwendet (»texture«, vgl. Literaturangaben Fußnote 8, p. 10).

5.3 Die Abhängigkeit der Texturqualität von Auflösungsvermögen und Maßstab

Die Deutlichkeit einer Textur ist gleichzeitig vom Maßstab und vom Auflösungsvermögen des photographischen Systems (Objektiv, Emulsion) abhängig. Das Verhältnis der beiden Faktoren zueinander ist folgendes: Man kann das Auflösungsvermögen für eine bestimmte Kombination von Objektiv- und Filmtyp als gegeben betrachten³⁾. Dieses Auflösungsvermögen ergibt die grundsätzliche Grenze, an der Texturen mit kritischer Dimension ihrer Komponenten verschwinden. Sekundär wird nun die Erkennbarkeit durch den Maßstab beeinflusst, indem bei konstant bleibendem Auflösungsvermögen der Maßstab und somit auch die Dimensionen der Texturkomponenten soweit variiert werden können, bis entweder optimale Bedingungen oder aber die Grenze der Auflösung erreicht sind. Bei einem gegebenen Auflösungsvermögen lassen sich folglich ein oberer Grenzmaßstab (kleinster Maßstab, bei dem gerade noch 100% der untersuchten Texturen sichtbar sind), ein mittlerer Grenzmaßstab (Erkennungswahrscheinlichkeit noch 50%) und ein unterer Grenzmaßstab (die Wahrscheinlichkeit der Sichtbarkeit ist gerade auf 0% gesunken) unterscheiden.

Auflösungsvermögen. Das Auflösungsvermögen wird durch die Anzahl der pro Millimeter unterscheidbaren Linien (L/mm) ausgedrückt. MacDonald 1953 a hat eine große Anzahl von Luftbildern⁴⁾ ausgewertet und erhält ein Häufigkeitsmaximum bei 15 L/mm. Bei der Verwendung von modernen Hochleistungsobjektiven können aber bedeutend bessere Ergebnisse erwartet werden⁵⁾. Wir selbst bestimmten das auf dem von uns verwendeten photographischen Material erreichte Auflösungsvermögen mit Hilfe zweier Linientexturen, die sich gut für diesen Zweck eigneten, nämlich

mit der Furchentextur in Kartoffeläckern und mit der Mähstreifentextur in Wiesen (s. 5.5, p. 33 resp. 35). Wie wir schon oben ausgeführt haben, hört die Erkennbarkeit einer Textur bei gegebenen Auflösungsvermögen und kleiner werdendem Maßstab nicht schlagartig an einem bestimmten Punkt auf, sondern sie sinkt innerhalb einer gewissen Maßstabsvariationsbreite allmählich von 100 auf 0%. Dies hängt damit zusammen, daß die Grenze des Auflösungsvermögens um einen Mittelwert schwankt, wofür man eine normale Verteilung annehmen kann. Diese Streuung kommt wiederum dadurch zustande, daß die Komponenten der als Testobjekte benützten Texturen in ihren Dimensionen (Breite der Furchen, resp. Mähstreifen) ebenfalls Schwankungen aufweisen und daß ferner das Auflösungsvermögen selbst sich innerhalb der Photos verändert (Objektivcharakteristik, variabler Kontrast). Diese Verteilung der Auflösungsgrenze wird in unserem Fall zweckmäßig durch eine Quetelet'sche Summationskurve dargestellt, die den zu erwartenden Prozentsatz der Parzellen mit erkennbarer Textur in Abhängigkeit des Maßstabes zeigt. Als Vereinfachung wurde allerdings der Verlauf der Kurve zwischen Maximum⁶⁾ und Minimum durch eine Regressionsgerade angenähert. Die dazu nötige Punktverteilung erhielten wir durch die aus den verschiedenmaßstabigen Filmstreifen ermittelten Prozentsätze der Felder mit erkennbarer Textur. Der Schnittpunkt der Geraden mit der 50%-Linie⁷⁾ ergab den mittleren Grenzmaßstab, mit dem wir unter Berücksichtigung der Dimension der Texturkomponenten das Auflösungsvermögen bestimmen konnten. Das Verfahren ist in Abb. 19 und 20 für die Kartoffelfurchen und die Mähstreifen dargestellt. Wir erhielten folgende Werte für das Auflösungsvermögen:

Tab. 9 Das Auflösungsvermögen des verwendeten Photomaterials (Objektiv: Kodak Aero Ektar 7", Filme: Kodak Aerographic Super XX und Ilford Hyperpan Aerial)

Testobjekt	Mittl. Breite der Texturkomponenten	AV L/mm		Kontrast	
		Neg.	Pos.	am Boden	auf Luftbild ²⁾
Kartoffelfurchen	33 cm ¹⁾	18,2	11,0	1:3,5	1:2,4
Mähstreifen	133 cm	6,0	4,9	1:1,2	1:1,14

1) Hälfte des Abstandes zwischen 2 Furchenkämmen.
2) Ermittelt mit Hilfe des mittleren Kontrastverlustes auf 16 Filmstreifen.
3) Das Maximum erreicht nicht 100%, da nicht alle Parzellen durchweg gleichartig behandelt werden. Zudem ist die Textur in Feldern mit ungünstiger Orientierung in bezug auf die Beleuchtung theoretisch gar nicht sichtbar.
7) 50 % des Maximums, nicht 50 % aller Felder.

3) Vorläufig sei vom Einfluß des Kontrastes abgesehen.
4) Offenbar Positive.
5) Nach Schwidofsky 1958 erreicht die Auflösung bei modernen Objektiven mit Brennweiten von 15-21 cm 30-40 L/mm. Aus der Nebeneinanderstellung der Objektive Aviotar 170 mm, Aviogon 100 mm und Topar 210 mm bei Heissler 1954 ist ersichtlich, daß die Werte je nach Blendenöffnung, Negativmaterial, Testvorlage und Entfernung von der optischen Achse zwischen 15 und 40 L/mm schwanken. Sie sind dabei für einen Kontrast von 0,2-0,25 (1:1, 6-1:1,8) gültig. Es ist jedoch zu beachten, daß diese Resultate in Laborversuchen gewonnen wurden und deshalb nicht ohne weiteres auf die praktische Luftphotographie angewendet werden können. Auf alle Fälle ist bei Flugaufnahmen im Mittel mit geringem Kontrast zu rechnen, was das Auflösungsvermögen herabsetzt (vgl. p. 47). Nach den Messungen von Carman und Carruthers 1951 (abgebildet bei Schwidofsky 1958), die über Garten- und Ackergeräde bei klarem Wetter, einer Sonnenhöhe von 64° und einer Flughöhe von 1200 m ausgeführt wurden, liegen der Mittelwert der Kontraste benachbarter Objekte bei 0,06 (= 1:1,15) und das Häufigkeitsmaximum bei 0,03 (= 1:1,07). Nach unseren eigenen Erfahrungen erreicht der im Falle der Texturen maßgebende Detailkontrast zum Teil etwas höhere Werte (s. Tab. 9).

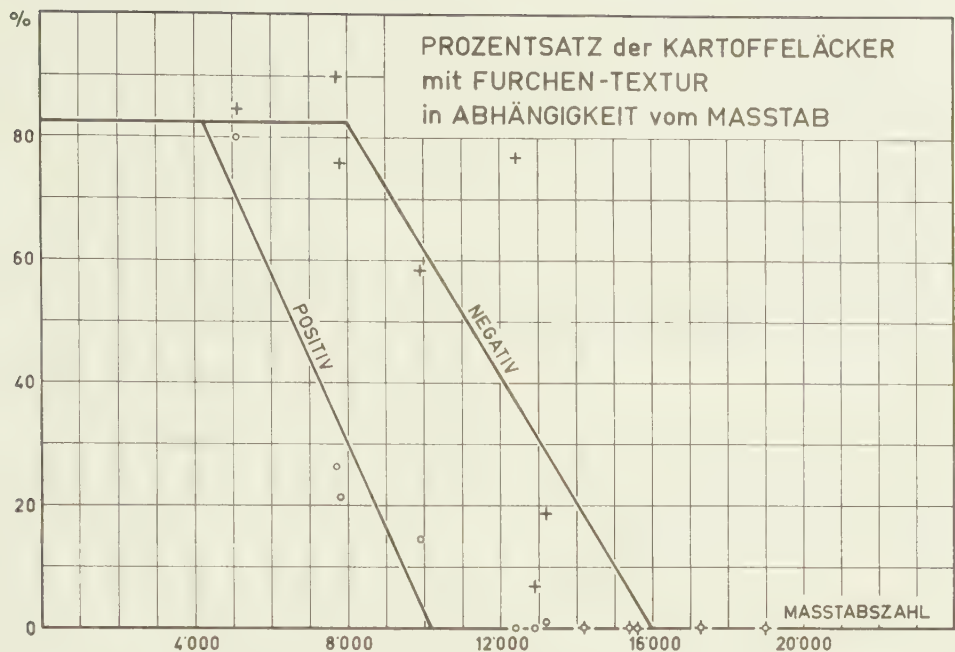


Abb. 19 Die Erkennbarkeit der Kartoffelfurchentextur als Funktion des Maßstabes

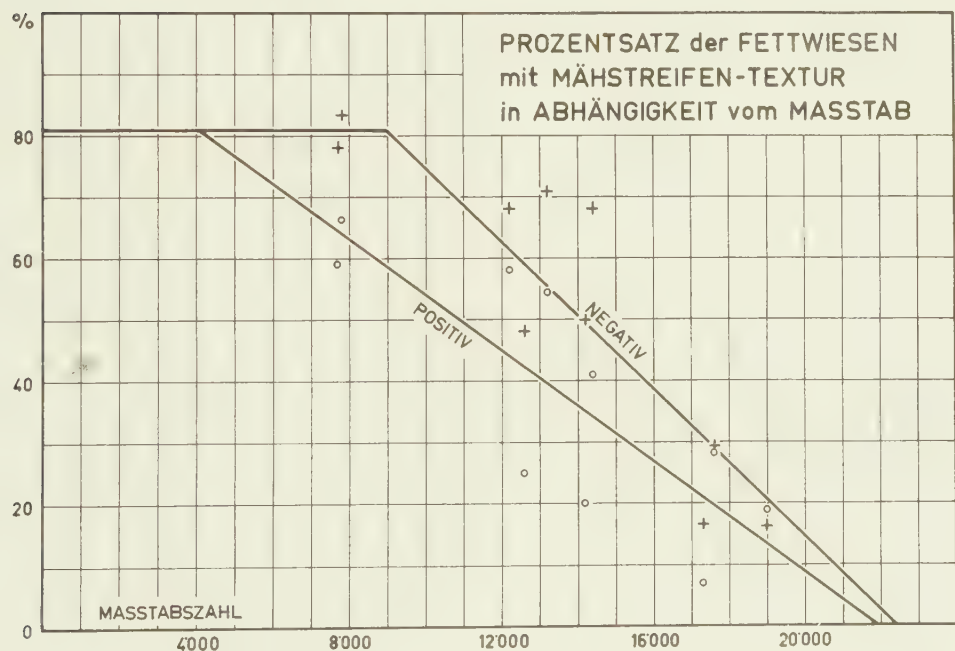


Abb. 20 Die Erkennbarkeit der Mähstreifentextur als Funktion des Maßstabes

Auffallend ist der beträchtliche Unterschied im Auflösungsvermögen zwischen Negativ und Positiv, um so mehr als in der Literatur oft die Angabe zu finden ist, daß der Verlust beim Kopieren gering sei (z. B. Roeder 1941)⁸⁾. Es sollte also doch nicht außer acht gelassen werden, daß das Negativ unter Umständen bedeutend mehr Information liefert.

Abhängigkeit des Auflösungsvermögens vom Kontrast. Die Differenz des Auflösungsvermögens zwischen Furchen- und Mähstreifentextur kann durch einen Unterschied im Kontrast erklärt werden (s. Tab. 9). Je größer der Kontrast zwischen den Texturkomponenten und dem Untergrund ist, desto bessere Werte erreicht die Auflösung⁹⁾. Wenn also die Erkennbarkeit von Texturen auf Grund des Auflösungsvermögens vorausgesagt werden soll, muß der Kontrast berücksichtigt werden.

Maßstabsempfindliche Texturen. Nicht alle Texturen sind in gleichem Maße für Maßstabsveränderungen empfindlich. Der Grad der Empfindlichkeit hängt mit Form und Dichte der Texturkomponenten zusammen. Verallgemeinernd läßt sich folgendes sagen: Die Qualität einer Textur ist stark maßstabsabhängig, wenn ihre Komponenten eine streng regelmäßige geometrische Form¹⁰⁾ aufweisen, und wenn die von ihnen eingenommene Fläche 50 % oder weniger der Parzelle beträgt. Gute Beispiele für stark maßstabsempfindliche Texturen sind die oben besprochenen Kartoffelfurchen- und Mähstreifentextur (s. Abb. 19 und 20). Den beiden Abbildungen läßt sich der optimale Maßstab entnehmen, d. h. der kleinste Maßstab, bei dem eben das Maximum der Erkennbarkeit erreicht wird. Beispielsweise ist er im Falle der Kartoffelfurchentextur ungefähr 1:4300 für das Positiv und rund 1:8000 für das Negativ.

Maßstabsunempfindliche Texturen. Relativ unempfindlich auf Maßstabsveränderungen sind Texturen, deren Komponenten unregelmäßige Form haben und (oder) mehr als 50 % der Fläche der untersuchten Parzelle einnehmen. Eine Textur dieser Art ist z. B. das körnige Muster in Hackfruchtäckern. Sie entsteht dadurch, daß sich einzelne oder Gruppen von Pflanzen gegeneinander abheben. Innerhalb einer ziemlich großen Maßstabsvariationsbreite behält diese Textur ihren

körnigen Aspekt. Die Körner, die auf großmaßstäbigen Photos erkennbar sind, verschwinden zwar als einzelne Komponenten mit kleiner werdendem Maßstab sukzessive. Infolge ihrer hohen Dichte schließen sie sich aber wieder zu neuen Körnern zusammen.

Die Maßstabsabhängigkeit von fleckigen Texturen ist noch geringer. In vielen Fällen ist die Dimension der einzelnen Komponenten so groß, daß sie auch bei stark reduziertem Maßstab noch sichtbar sind. Außerdem kann auch hier ein Zusammenschluß von kleineren zu größeren Flecken stattfinden.

5.4 Die Auszählung der Texturen und die Standardisierung der Resultate

Auf jedem Aufnahmestreifen wurden für die untersuchten Nutzungstypen die Felder mit typischer Textur ausgezählt¹¹⁾. Dabei berücksichtigten wir von den infolge der Überdeckung zwei- bis dreimal wiederholten Abbildern der gleichen Felder immer diejenigen, die die günstigste Lage innerhalb des Photoformates aufwiesen, mit anderen Worten diejenigen, die möglichst im Zentrum des Bildes lagen. Die Resultate der Auszählung ergaben den Prozentsatz von Feldern eines bestimmten Nutzungstyps, der zu einer bestimmten Jahreszeit eine der von uns berücksichtigten Texturen zeigte.

Die Werte für die maßstabsempfindlichen Texturen wurden von den Negativen, diejenigen für die relativ unempfindlichen von den Positiven gewonnen, in der Annahme, daß bei einer Maßstabszahl um 10000 der Wechsel von Positiv zu Negativ nur bei den eindeutig maßstabsabhängigen Texturen wesentlich Neues bringt¹²⁾. Die Prozentsätze für die zu dieser Gruppe gehörenden Texturen (Kartoffelfurchen, Mähstreifen) erfuhren dann an Hand der in Abb. 19 und 20 dargestellten Beziehungen eine Korrektur auf den einheitlichen Negativmaßstab von 1:10000. Die Prozentsätze aller übrigen Texturen wurden dagegen unverändert übernommen. Somit läßt sich sagen, daß unsere Resultate im Falle des Negativs für einen Maßstab von rund 1:10000 Gültigkeit haben,

⁸⁾ Nach Brock 1952 (p. 119 ff.) ist das Auflösungsvermögen des Positivs in der Mitte der Tonskala demjenigen auf dem Negativ weitgehend ebenbürtig. Dagegen entsteht gegenüber dem Negativ ein größerer Verlust in den Lichtern und Schatten.

⁹⁾ Vgl. auch Brock 1952 (p. 99 ff.).

¹⁰⁾ In Frage kommen vor allem Linien und Streifen.

¹¹⁾ Felder mit deutlicher Textur wurden ganz, solche mit undeutlicher halb gezählt.

¹²⁾ Selbstverständlich erreichen auch die Komponenten der relativ unempfindlichen Texturen irgendeinmal die Grenze der Auflösung. Die Maßstäbe, die von uns zur Auswertung herangezogen wurden, waren jedoch für sie noch nicht kritisch (Bilder unter 1:13000 blieben unberücksichtigt).

während die Positive infolge ihres geringeren Auflösungsvermögens erst bei einem Maßstab von ca. 1:5600 dieselbe Information liefern würden.

Durch die Einordnung der Resultate in das phänologische Schema (s. p. 17–18) ließen sich schließlich Kurven zeichnen, die das zu erwartende prozentuale Auftreten von typischen Texturen bei den untersuchten Nutzungstypen wiedergeben (s. Abb. 21–23).

5.5 Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen

Im Abschnitt 5.2 sind die Schwierigkeiten erwähnt worden, die sich der Bildung eines objektiven Texturschlüssels entgegenstellen. Unsere Auswahl war deshalb der Absicht, nur möglichst typische und eindeutige Texturen zu berücksichtigen, untergeordnet. Dabei war es nicht zu vermeiden, daß diese Auswahl mit einer gewissen Willkür erfolgte, weil nur damit eine wesentliche Vereinfachung zu erzielen war. So wurden für die Getreidefelder in erster Linie streifige (Saatreihen), für die Hackfruchtäcker scheckige und körnige und für die Wiesen fleckige Texturen als typisch betrachtet. Typisch bedeutet in diesem Fall, daß die Textur in der betreffenden Kulturart permanent oder mindestens periodisch stark verbreitet ist. Die Beschränkung auf typische Texturen¹³⁾ dürfte sich auf die später abgeleiteten Unterscheidungsraten so auswirken, daß sie eher einen etwas größeren Erfolg angeben, als in der Praxis tatsächlich erwartet werden darf. Auf der anderen Seite wird aber eine gewisse Kompensation dadurch eintreten, daß im praktischen Fall auch weniger häufige Texturen oder Texturkombinationen, die hier vernachlässigt worden sind, dem erfahrenen Interpreten weitere Information liefern können. Im folgenden soll nun die von uns getroffene Auswahl von Texturen und ihr Auftreten innerhalb der Vegetationszeit kurz besprochen werden (vgl. dazu Abb. 10 in der Beilage).

Getreide. Als Vereinfachung wurde angenommen, daß sich bei allen Getreidearten entsprechende

Entwicklungsstadien gleichartig auf den formalen Aspekt der Felder auswirken. Je nach dem Anbaudatum und der Vegetationszeit treten aber analoge Zustände zu verschiedenen Zeiten auf. Indem wir die Durchschnittsdaten einer Anzahl charakteristischer Entwicklungszustände von allen untersuchten Getreidearten mittelten (s. Tab.10), erhielten wir ein Schema, in das sich alle Beobachtungen über die Texturen mittels Interpolation zeitlich einordnen ließen. Dieses Verfahren führte zur Darstellung in Abb. 21. Unter Berücksichtigung der individuellen zeitlichen Verschiebungen gegenüber diesem mittleren Schema lassen sich dann wieder die Werte für die einzelnen Getreidesorten herauslesen¹⁴⁾.

Tab. 10 Daten für das zeitliche Auftreten charakteristischer Entwicklungszustände beim Getreide

Getreideart	Beginn des intensiven Wachstums (Wuchsrate = $\pm 0,5$ cm/d)	Ähren-schieben	Beginn der Reife	Ernte
Winterweizen	117	161	185	213
Wintergerste	106	141	152	195
Winterroggen	107	142	166	206
Sommerweizen	126	167	190	219
Sommergerste	133	166	185	216
Hafer	130	175	192	229
Mittel	120	159	179	213

a) Streifig, starker Kontrast: Junge Getreidesaaten erscheinen normalerweise streifig, indem sie einzelne oder mindestens Gruppen von Saatreihen erkennen lassen. Diese heben sich dunkel gegen die Zwischenräume ab, in denen der Boden noch hell durchscheint (auf dem Positiv). Eine Verwechslung mit den Mähstreifen bei Wiesen ist kaum möglich. Die wichtigsten Unterschiede sind die folgenden: Die Getreidetextur ist schmalstreifiger, der Verlauf der Saatreihen ist eher unregelmäßig und der Kontrast von dunkel zu hell ist, wenigstens solange der Boden noch zum Vorschein kommt, höher¹⁵⁾.

b) Streifig, schwacher Kontrast: Mit fortschreiten-dem Wachstum verschwinden die noch unbedeck-

¹³⁾ Es gibt auch atypische Texturen. Darunter verstehen wir Texturen, die neben ihrem häufigen und daher typischen Auftreten in einer bestimmten Kulturart auch noch in einem nichtverwandten Nutzungstyp in geringer Menge vorkommen. Beispielsweise beschränken sich die körnigen Texturen genau genommen nicht auf die Hackfrüchte, sondern sie sind auch hie und da in Getreidefeldern oder sogar Wiesen deutlich zu beobachten. Allerdings nimmt dabei der körnige Aspekt meist nur einzelne Teile einer Parzelle ein, während er bei den Hackfrüchten gleichmäßig über das ganze Feld verteilt ist. Überdies sind dann im Falle der Getreidefelder körnige Stellen häufig mit der unverkennbaren streifigen Musterung kombiniert, so daß die Gefahr der Verwechslung nicht sehr groß ist.

¹⁴⁾ Dieses Vorgehen schließt zum vornherein die Annahme in sich, daß die einzelnen Getreidearten in bezug auf die Texturen identisch und deshalb prinzipiell ununterscheidbar sind. Eine Differenzierung ist nur möglich, wenn sich Getreidesorten durch genügend große zeitliche Unterschiede des Auftretens analoger Entwicklungszustände auszeichnen. Dann sind gewisse textuelle Verschiedenheiten vorhanden, indem das zeitliche Aufeinander verschiedener Texturen im Durchschnittsschema als räumliches Nebeneinander im Luftbild erscheint.

¹⁵⁾ Nach unseren Reflexionsmessungen beträgt der Kontrast bei trockenem Boden und einer Wuchshöhe des Getreides von 45 cm ca. 1:2,3.

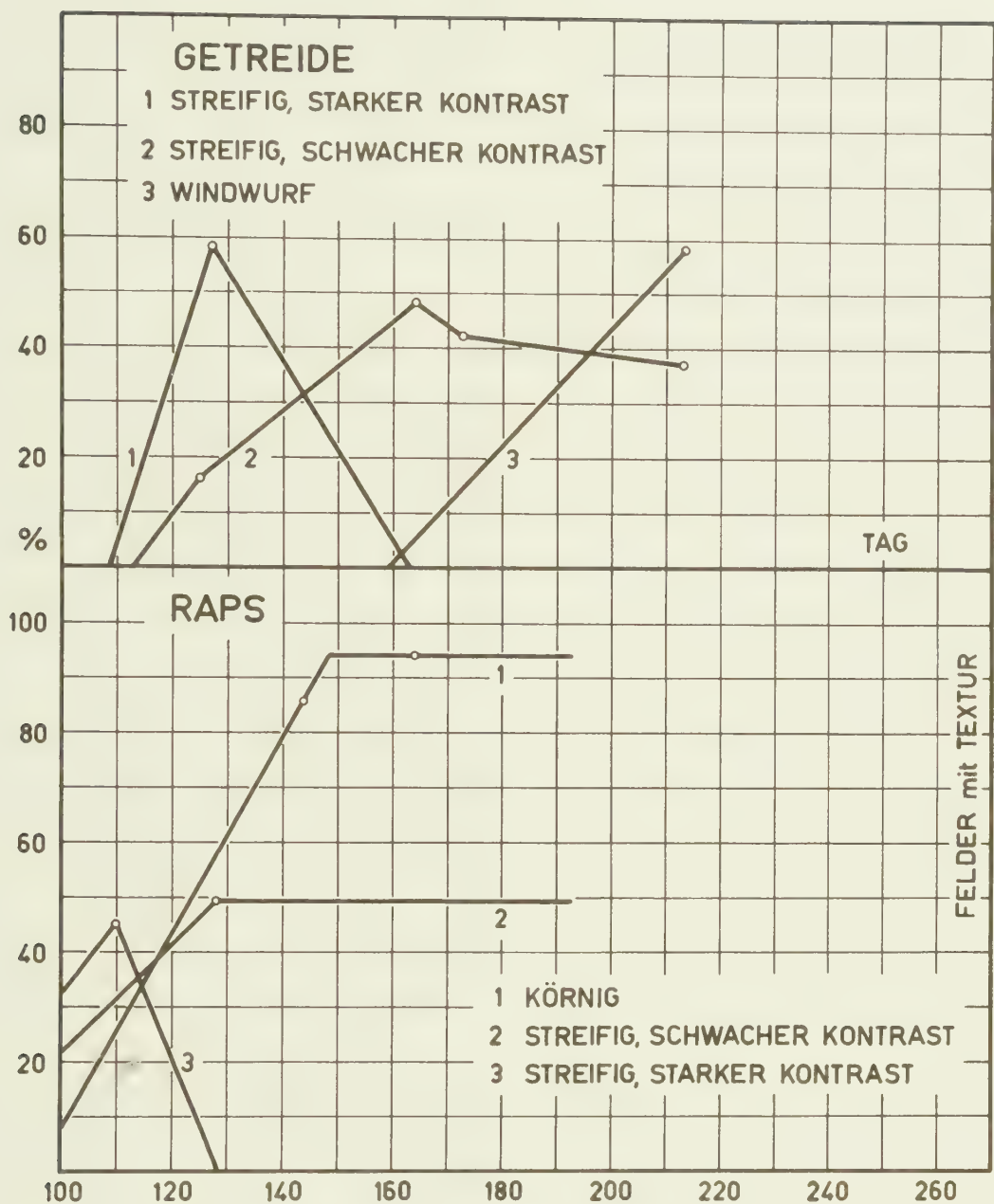


Abb. 21 Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen bei Getreide und Raps

ten Lücken, bis der Boden eine gleichmäßige Bedeckung aufweist. Trotzdem sind oft immer noch Streifen erkennbar, wenn auch der Kontrast nun bedeutend geringer ist. Diese Streifen können ganz verschiedene Breite haben. Gelegentlich erscheinen sie plastisch und sehen dann aus wie eine Reihe parallel nebeneinander gelegter Schnüre. Die Streifung ist nur in etwa 40–50 % der Felder deutlich erkennbar, so daß die streifigen Texturen für das Getreide nicht die gleiche bedeutende Rolle spielen wie etwa die körnige Textur bei den Hackfrüchten¹⁶⁾.

c) Fleckig, einzelne Komponenten scharf begrenzt: Diese Textur entsteht, wenn sich das Getreide infolge von zu schweren Ähren (Überdüngung des Bodens) oder von schlechtem Wetter (heftiger Wind oder Regen) an einzelnen Stellen lagert. Diese nehmen eine mehr oder weniger große Fläche des Feldes ein und sind gegenüber dem stehenden Getreide normalerweise ganz scharf abgesetzt. Auf den Luftbildern sind die Lagerfruchtstellen meist stereoskopisch sichtbar und geben den betroffenen Feldern einen löcherigen Aspekt. Lagerndes Getreide ist immer sehr hell (vgl. Tab. 5, p. 20) und hebt sich deshalb auch durch den Kontrast von der Umgebung ab. Es kann allerdings vorkommen, daß im Laufe des Reifeprozesses auch das noch stehende Getreide so hell wird, daß das ganze Feld einen homogenen Grauton erhält und die Lagerfruchtstellen nicht mehr erkennen läßt¹⁷⁾. Die Wahrscheinlichkeit ihres Vorkommens nimmt natürlich mit fortschreitendem Reifeprozess zu, was in Abb. 21 in einfacher Weise durch eine Gerade dargestellt wurde.

d) Erntetexturen¹⁸⁾: Die unter diesem Abschnitt zusammengefaßten Texturen zeigen sich während oder nach der Ernte. Ihr Auftreten ist zum Teil vom Stand der Mechanisierung und vom lokalen Klima und Wetter abhängig. Sofern nicht ein Mähdrescher eingesetzt wird, werden die Garben bei der Ernte zunächst auf dem Boden ausgelegt, was einen scheckigen Aspekt ergibt. Später werden sie zu Puppen zusammengestellt, die dem Feld ein typisches tupfiges Aussehen verleihen und auch gut stereoskopisch sichtbar sind. Auf den Stoppelfeldern treten auch Mähstreifen auf, die allerdings

meist weniger deutlich als diejenigen auf den Wiesen sind¹⁹⁾. Außerdem sind die geernteten Felder oft noch durch ein unregelmäßig scheckiges oder fleckiges Aussehen gekennzeichnet, wobei die einzelnen Komponenten aber keinen starken Kontrast gegenüber der Umgebung aufweisen²⁰⁾. Diese Musterung entsteht dadurch, daß sich entweder kahle Bodenstellen oder stärker verunkrautete Flecken durch entsprechende Tönung bemerkbar machen.

Hackfrüchte i. e. S. (Kartoffeln, Runkelrüben).

a) Linig (Kartoffelfurchentextur): Bei der Bestellung der Kartoffelfelder werden in den meisten Fällen zwischen den Kartoffelreihen Furchen angelegt, wobei das dort weggenommene Erreich über den gesteckten Knollen angehäufelt wird²¹⁾. Das dadurch entstehende Nebeneinander von Mulden und Kämmen zeichnet sich auf dem Luftbild durch eine Linientextur ab. Die Deutlichkeit ihrer Ausprägung ist von der Beleuchtung abhängig. Theoretisch ist sie am besten erkennbar, wenn die Furchen im rechten Winkel zum einfallenden Sonnenlicht verlaufen (Licht- und Schattenseite), am schlechtesten, wenn sie parallel zur projizierten Einfallrichtung des Lichtes angeordnet sind (gleichmäßige Beleuchtung). Diese Textur ist im Frühling und Frühsommer natürlich nur solange sichtbar, als der Boden noch nicht vollkommen von den Kartoffelstauden bedeckt ist. In der Reifezeit der Kartoffeln erscheint sie wieder, wenn die Stauden abzusterben beginnen.

b) Scheckig: Diese Textur kann in ähnlicher Ausbildung sowohl bei den Kartoffeln als auch bei den Runkelrüben beobachtet werden. Sie tritt während der Zeit des ersten Wachstums auf. Die einzelnen Texturkomponenten sind in ziemlich homogener Weise über die ganze Parzelle verteilt und repräsentieren die Stellen, die schon von den Pflanzen bedeckt sind, während der dazwischenliegende Boden noch kahl ist. Gegenüber der später auftretenden körnigen Textur unterscheidet sich die scheckige durch die größeren Kontraste und vor allem dadurch, daß die Komponenten keinen plastischen Eindruck machen (vgl. körnige Textur). In der Praxis lassen sich die beiden Musterungen nicht in allen Fällen eindeutig voneinander trennen, da Übergangsformen vorkommen²²⁾.

¹⁶⁾ Die Texturen a und b wurden als einander ausschließend betrachtet. Über die Zugehörigkeit eines Feldes entscheidet der dominierende Aspekt.

¹⁷⁾ In diesem Fall scheint aber auch das stehende Getreide mehr oder weniger stark geneigte Halme oder mindestens stark hängende Ähren zu haben, so daß in erster Linie die hellen gelben Halme aspektbildend wirken.

¹⁸⁾ In Abb. 21 nicht eingezeichnet. In der Auswertung wurden berücksichtigt: Puppen, Mähstreifen und scheckige Textur. Vgl. auch Bemerkungen p. 45.

¹⁹⁾ Trotzdem wurden die Mähstreifen auf Wiesen und auf Getreidestoppelfeldern als nicht unterscheidbar betrachtet.

²⁰⁾ Im Gegensatz zur Garbentextur mit stärkerem Kontrast und regelmäßig über die Parzelle verteilten Komponenten.

²¹⁾ Damit die entstehenden Knollen gut vom Boden bedeckt sind.

²²⁾ Ähnlich wie bei den streifigen Getreidetexturen wurden auch hier scheckige und körnige Textur als einander ausschließend betrachtet. Je nach dem vorherrschenden Eindruck wurde ein betrachtetes Feld der einen oder der anderen zugeschlagen.

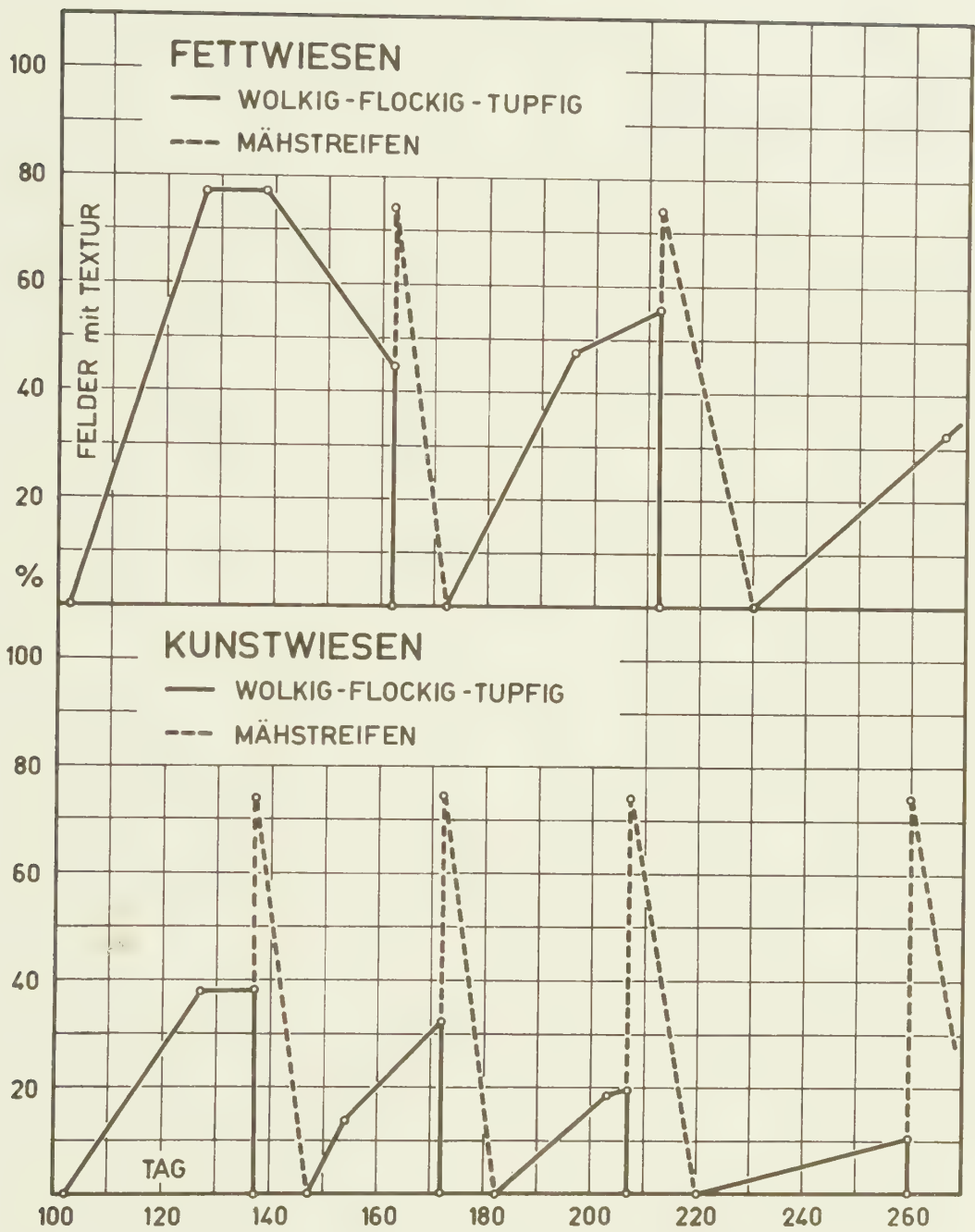


Abb. 23 Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen bei Wiesen

Grenze tritt die Goldhaferwiese an ihre Stelle, die bedeutend ärmer an aspektmäßig dominierenden Pflanzen ist²⁶). Die Ergebnisse, wie sie in Abb. 23 dargestellt sind, wurden alle aus Wiesen innerhalb der Fromentalregion gewonnen.

Die Kunstwiesen zeigen prinzipiell ein ähnliches Verhalten, aber der Prozentsatz der Felder mit wolkiger Textur ist bedeutend kleiner und die Textur selbst weniger intensiv. Eine Kunstwiese enthält ja primär keine hell blühenden Pflanzen, sondern besteht aus einer Klee- oder Luzernegrasmischung. Junge Kunstwiesen zeigen auch eine fast homogene Schwärzung und sind oft texturlos. Erst mit zunehmendem Alter der Wiese beginnen andere Pflanzen einzuwachsen, und nach 4–6 Jahren wird ein Stadium erreicht, das bestandesmäßig den Naturwiesen schon recht nahe steht (vgl. Schneider 1954). Klee und Luzerne dominieren nur etwa zwei Jahre. Darauf beginnt der Löwenzahn einzuwandern und herrscht dann einige Zeit vor. Wolkige Texturen in Kunstwiesen sind also immer dort zu einem gewissen Prozentsatz zu erwarten, wo mehrjährige Mischungen angesät werden. (Vgl. auch Bemerkungen zur Kunstwiese bei Tab. 1, Ziffer 3, p. 15).

b) Tupfig (Weidetextur): Häufig werden hofnahe Wiesen, etwa Baumgärten, als Mähweide genutzt. Sie zeigen im Zeitpunkt der Beweidung die typische Tupfentextur, die dadurch zu erklären ist, daß bestimmte Unkräuter oder Stellen, an denen Kuhfladen liegen, vom Vieh nicht abgefressen werden. Das allfällige Auftreten dieser Textur, die sonst für Weide charakteristisch ist, läßt zusammen mit der Lage der Parzelle eindeutig auf Wiese schließen²⁷).

c) Streifig (Mähstreifen): Bei streifigen Texturen in Wiesen handelt es sich in den weitaus meisten Fällen um Mähstreifen²⁸). Eine derartige Musterung besteht aus einer wechselnden Folge von ziemlich scharf gegeneinander abgegrenzten helleren und dunkleren Streifen, deren Breite je nach dem Typ der verwendeten Maschine variabel ist. Die wechselnde Helligkeit der Streifen hängt mit der Fahrrichtung beim Mähen zusammen. Die Grasnarbe wird je nachdem auf die eine oder

andere Seite gequetscht, was zusammen mit der Orientierung der Streifen gegenüber dem Sonnenstand eine verschieden starke Reflexionsintensität erzeugt²⁹). Da die streifige Textur mit dem Schnitt der Wiesen zusammenhängt, ist sie in erster Linie zu den Hauptschnittzeiten zu erwarten (s. Abb. 1). Es darf aber nicht übersehen werden, daß in unserer Darstellung in stark vereinfachender Weise angenommen wurde, alle Wiesen würden jeweils am selben Tage geschnitten. In Wirklichkeit wäre das Maximum des Vorkommens der Mähstreifentextur im Zeitpunkt des Schnittes weniger ausgeprägt. Außerdem kommt es häufig vor, daß einzelne Wiesen auch außerhalb der normalen Schnittzeiten gemäht werden, so etwa im Frühling zur Grünfuttergewinnung. Im Gegensatz zu unserer vereinfachten Darstellung muß also während der ganzen Untersuchungsperiode immer ein kleinerer oder größerer Prozentsatz von Wiesen mit Mähstreifentextur erwartet werden.

d) Andere Erntetexturen: Außer den häufigen Mähstreifen können auch noch andere Streifungen auftreten, so z. B. wenn eine Wiese im Moment der photographischen Aufnahme gerade geschnitten wird (Schnittmahden) oder wenn auf ihr das Heu zusammengereicht worden ist (Rechenmahden). Eine tupfige Textur entsteht, wenn das Heu in Form von Schochen aufgehäuft wird. Haben dieselben längere Zeit an der gleichen Stelle gelegen, so ergibt sich ein ähnlicher, wenn auch nicht plastischer Aspekt auch noch, nachdem das Heu eingebracht worden ist, weil überall unter den Schochen das Gras nicht nachgewachsen ist. Diese Stellen heben sich dann noch eine Zeitlang gegenüber der Umgebung durch ihren helleren Ton ab. Ein ähnlicher Effekt kann auch im Falle der Rechenmahden beobachtet werden. Gelegentlich sind Streifen, die auf Rechenmahden zurückgehen, mit quer dazu verlaufenden Rechen- oder Mähstreifen kombiniert³⁰). Alle diese Texturen sind zwar für Wiesen charakteristisch aber relativ selten, so daß wir sie für die später folgende Auswertung nicht herangezogen haben.

*Dauerweide*³¹). Permanent beweidetes Areal zeichnet sich einmal durch dieselbe tupfige Textur

²⁶) Zur Verbreitung und Phänologie der Goldhaferwiese s. Marshall 1947.

²⁷) Prozentual gesehen ist diese Textur in Wiesen doch eher selten. Für die Ermittlung der Unterscheidungsrate wurde sie nicht berücksichtigt.

²⁸) Ausnahmen: Rechen- oder Schnittmahden, ferner Streifen, die gegenüber der Umgebung heller erscheinen, weil längere Zeit Rechenmahden auf ihnen gelegen haben. In jungen Kunstwiesen ist gelegentlich eine undeutliche Saatzeilenstreifung zu erkennen, aber nur bei größerem Maßstab.

²⁹) Ein Streifen erscheint hell, wenn die Stoppeln von der Sonne weg, dunkel, wenn dieselben gegen die Sonne gequetscht sind.

³⁰) Es ist möglich, daß eine Streifung auch beim Zusammenrechen des Heus zu Mahden entsteht. Entsprechende Beobachtungen im Gelände habe ich jedoch keine gemacht. Alle diese Fälle sind deshalb den Mähstreifen zugerechnet worden.

³¹) Da im Fall der Dauerweide zu wenig photographisches Material für die Ermittlung der Grautonveränderungen vorlag, ist sie für die statistische Darstellung der Unterscheidbarkeit verschiedener Nutzungsarten nicht berücksichtigt worden. Dagegen sei hier ein Blick auf die Textur geworfen, da sie den wichtigsten Indikator beim Identifizieren von Weide darstellt.

aus, die wir schon bei den beweideten Wiesen (s. p. 35) angetroffen haben. Außerdem ist aber die Weide von weiteren typischen Musterungen überzogen, die ihre Identifikation eindeutig gestatten. Dunkle Flecken zeigen die Stellen an, wo Sträu-

³²⁾ Innerhalb einer Parzelle wachsende Sträucher sind immer ein untrügliches Kennzeichen für die Art der Nutzung. Auf Wiesen können sich infolge des regelmäßig wiederkehrenden Schnittes Holzpflanzen nicht entwickeln.

cher aufzuwachsen beginnen³²⁾, helle Flecken oder Streifen solche, an denen die Grasnarbe durch den Viehtritt zerstört worden ist und der nackte Boden zum Vorschein kommt. An steileren Hängen entsteht eine eigentliche Treppe, da das Vieh die Gewohnheit hat, sie isohypsenparallel zu queren (Kuhstreifen). Im ganzen gesehen weist die Dauerweide eine überaus vielfältige und unruhige Musterung auf, die von der Jahreszeit nicht stark abhängig ist.

6. Der Stereoeffekt

6.1 Definition

Unter dem Stereoeffekt wird hier das Kriterium verstanden, ob ein Objekt bei der stereoskopischen Betrachtung im Luftbild räumlich erscheint oder nicht. Theoretisch wäre es an und für sich möglich, absolute Höhen zu messen. Die vorkommenden Höhenunterschiede sind jedoch recht klein und infolge der bei den Messungen zu erwartenden Fehlern und der Schwankungen der Wuchshöhen bei den zu unterscheidenden Nutzungstypen ließen sich mit den üblichen Maßstäben sicher keine wesentlichen Erfolge erzielen. Der verwendete Maßstab müßte schon sehr groß sein, daß sich mit absoluten Messungen (z. B. mit einem Parallaxmikrometer) einigermaßen zuverlässige Aussagen gewinnen ließen. Dagegen kann das einfache Kriterium des Stereoeffektes im oben genannten Sinne zu gewissen Jahreszeiten äußerst wertvolle Dienste leisten.

6.2 Der Einfluß verschiedener Faktoren auf den Stereoeffekt

Ob ein Stereoeffekt zustande kommt oder nicht, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Ihre Wirkungsweise kann am besten durch die Entwicklung der folgenden Gleichung gezeigt werden¹⁾:

$$\frac{b}{p} = \frac{H-b}{B}$$

Dabei bedeuten: b Objekthöhe, p Parallaxe, H Flughöhe ü. G. und B Flugbasis. Da im Ausdruck $H-b$ b sehr klein gegenüber H ist, kann diese Größe vernachlässigt werden. Außerdem können H und B durch f (Brennweite des Objektivs) und b (Photobasis) ersetzt werden, da aus den bei der

Photographie geltenden geometrischen Beziehungen die Gleichung

$$\frac{H}{B} = \frac{f}{b}$$

folgt. Ferner wird die Größe b durch einen Ausdruck ersetzt, der s (Photoseitenlänge) und d (Überdeckungskoeffizient) enthält:

$$b = s(1-d)$$

Wenn schließlich noch der Maßstab durch die Einführung der Maßstabszahl M berücksichtigt wird, erhalten wir folgende neue Gleichung:

$$b = \frac{p \cdot f \cdot M}{s \cdot (1-d)}$$

Um die kleinste Objekthöhe ($b_{\min}$) zu ermitteln, die bei gegebenen übrigen Werten noch einen Stereoeffekt ergibt, müssen wir anstelle von p die Größe $p_{\min}$, d. h. die kleinste vom menschlichen Auge bei der stereoskopischen Betrachtung noch wahrnehmbare Parallaxe einsetzen. Diese wird in der zuständigen Literatur normalerweise durch einen Winkelwert wiedergegeben, der die minimale Änderung des Konvergenzwinkels der beiden Augenachsen ausdrückt, die eben noch eine merkliche räumliche Tiefendifferenz erzeugt. Nowicki 1952 gibt dafür als Mittelwert 20", als besten Wert 10" an, Schwidofsky 1954 als Schwanungsbreite 10–26". Diese Werte gelten aber für das natürliche stereoskopische Sehen, und es fragt sich, inwieweit sie auch für das bei der Luftbildbetrachtung angewendete »künstliche« stereoskopische Sehen Gültigkeit haben²⁾. Es ist deshalb besser, in der Falle der Luftbildbetrachtung das stereoskopische Sehvermögen durch die kleinste Horizontalparallaxe ($p_{\min}$) auszudrücken, die in

¹⁾ Für die Herleitung dieser Gleichung aus den geometrischen Beziehungen s. z. B. Aschenbrenner 1950 oder Johnson 1957.

²⁾ Insbesondere streiten sich verschiedene Autoren über die Frage, ob beim »künstlichen« stereoskopischen Sehvorgang sich die Augenachsen irgendwo im Raum schneiden oder ob sie annähernd parallel gerichtet sind (vgl. dazu Goodale 1953, Miller 1953, Raasveldt 1956, Schwidofsky 1954, Treece 1955).

praktischen Versuchen eben noch einen räumlichen Effekt ergab. So stellte Moessner 1955 in einem Test, an dem 171 Personen beteiligt waren, fest, daß die minimale Parallaxe im Mittel rund 0,05 mm (= 0,002 inch) beträgt, daß aber einzelne Personen Parallaxen bis unter 0,025 mm (= 0,001 inch) erkennen können. Der Schreibende erhielt für seine stereoskopische Sehfähigkeit einen Mittelwert von 0,048 mm³⁾.

In der obigen Gleichung muß nun noch berücksichtigt werden, daß die effektiv kleinste Parallaxe noch um den Vergrößerungsfaktor des verwendeten stereoskopischen Betrachtungsgerätes kleiner ist. Es ist also

$$p_{\min} = \frac{p_{\min'}}{\nu}$$

wobei $p_{\min}$ die kleinste erkennbare Parallaxe bei der Betrachtung mit einem vergrößernden Stereoskop ist, ν der diesem Gerät eigene Vergrößerungsfaktor und $p_{\min'}$ die minimal sichtbare Parallaxe ohne Verwendung eines Betrachtungsgerätes mit vergrößernder Wirkung⁴⁾. Für die Stereoschwelle $h_{\min}$ lautet dann die Formel wie folgt:

$$h_{\min} = \frac{p_{\min'} \cdot f \cdot M}{\nu \cdot s \cdot (1-d)}$$

Nun kann allerdings die stereoskopische Sehfähigkeit nicht beliebig verbessert werden, indem man die vergrößernde Wirkung des Stereoskopes steigert. Diesem Vorgang sind durch das photographische Auflösungsvermögen Grenzen gesetzt. Die kleinste noch wahrnehmbare Parallaxe ist zwar nicht identisch mit dem kleinsten auf der photographischen Schicht noch aufgelösten Detail, sondern aus Gründen, die hier nicht erläutert werden können, kleiner (vgl. dazu Aschenbrenner 1950). Zwischen beiden Größen scheint aber eine gewisse Abhängigkeit zu herrschen, die durch den Faktor F wiedergegeben werden kann, den Aschenbrenner 1950 im Mittel als 2,5 annimmt. Er setzt deshalb in der obigen Gleichung anstelle von $p_{\min}$ den Ausdruck

$$\frac{1}{F \cdot R}$$

ein, wobei R das Auflösungsvermögen in Linien pro mm ist⁵⁾. Die endgültige Formel heißt nun folgendermaßen:

$$h_{\min} = \frac{f \cdot M}{F \cdot R \cdot s \cdot (1-d)}$$

6.3 Die Bestimmung der Stereoschwelle auf dem untersuchten Photomaterial

Die Stereoschwelle sei definiert als minimale Objekthöhe, die bei gegebenem Maßstab mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% erkannt werden kann. Dieser Schwellenwert könnte mit Hilfe der oben angegebenen Formel berechnet werden, wenn alle vorkommenden Größen mit zuverlässiger Genauigkeit bekannt wären. In unserem Fall sind die Brennweite f , die Maßstabszahl M , die Photoseitenlänge s und der Überdeckungskoeffizient d genau bekannt. Dagegen sind die einzusetzenden Werte für das Auflösungsvermögen R und den Umrechnungsfaktor F unsicher.

Wir zogen es deshalb vor, die Stereoschwelle empirisch durch die direkte Betrachtung der Objekte auf den Luftbildern zu bestimmen. Das Vorgehen war wie folgt: Pro Landnutzungstyp und pro Filmstreifen wurde der Prozentsatz von Feldern mit Stereoeffekt durch Auszählung errechnet⁶⁾. Unter Berücksichtigung der Wuchshöhenstreuung (s. 6.4, p. 40) konnte jeder Prozentsatz auf die zugehörige Stereoschwelle (Wahrscheinlichkeit für Stereoeffekt = 50%) umgerechnet werden. Wir erhielten somit für jeden Streifen eine Reihe mehr oder weniger stark voneinander abweichender Werte für die Stereoschwelle, die gemittelt wurden. Schließlich trugen wir diese Mittelwerte in einem Diagramm als Funktion des Maßstabes auf und näherten die daraus entstandene Punktverteilung durch eine Regressionsgerade an (s. Abb. 24), die mit folgender Gleichung wiedergegeben ist:

$$h_{\min} = 5,82 \cdot 10^{-3} \cdot M \text{ cm}$$

Dabei ist $h_{\min}$ die Stereoschwelle und M die Maßstabszahl. Es ergibt sich daraus, daß für einen Maßstab von 1:10 000 die minimal noch erkennbare Objekthöhe 58 cm beträgt.

³⁾ Wir ermittelten diesen Wert auf Grund der von uns empirisch bei der Betrachtung der Luftbilder festgestellten Stereoschwelle (vgl. Abb. 24). Jeder Interpretator müßte diese Stereoschwelle (= minimal erkennbare Objekthöhe) entsprechend korrigieren, falls seine individuelle stereoskopische Sehfähigkeit vom obigen Wert wesentlich abweichen würde.

⁴⁾ Für unsere Untersuchungen verwendeten wir ein Zeiss-Linsenstereoskop mit einem Vergrößerungsfaktor $\nu = 2,8$, vgl. Zeiss Aerotopograph 1957.

⁵⁾ Allerdings ist zu vermuten, daß für R der doppelte Wert des Auflösungsvermögens eingesetzt werden muß. Erst dann wird ja das kleinste aufgelöste Detail ausgedrückt. Aschenbrenner sagt darüber nichts Genaues. Außerdem stellt sich die Frage, welcher Wert des mit dem Kontrast variierenden Auflösungsvermögens für die stereoskopische Betrachtung maßgebend ist.

⁶⁾ Der Stereoeffekt wurde auf den Positiven untersucht.

Wir sind uns bewußt, daß dieses Vorgehen durchaus subjektiver Art ist. Es gibt aber keine andere Möglichkeit der Bestimmung der Stereoschwelle, da ja bei der stereoskopischen Betrachtung immer

das menschliche Auge beteiligt ist und somit der Weg immer über diese subjektive Station führt. Immerhin ist anzunehmen, daß wenigstens gewisse das subjektive stereoskopische Sehvermögen beein-

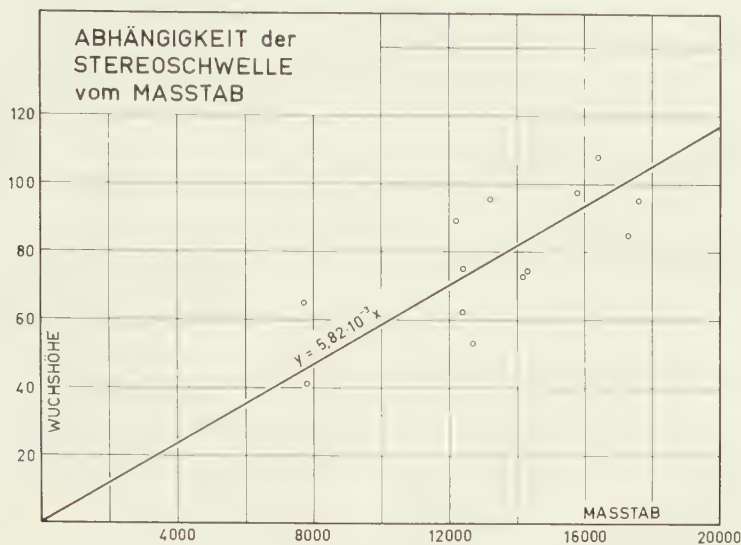


Abb. 24 Die Abhängigkeit der Stereoschwelle vom Maßstab beim verwendeten Photomaterial

flussende Faktoren, wie etwa Beleuchtung und Ermüdung, ausgeschaltet wurden, indem wir nicht direkt die für die einzelnen Kulturen und Streifen ermittelten Werte als maßgebend betrachteten, sondern alle Resultate in der beschriebenen Weise zuerst statistisch verarbeiteten. Die auf Grund der empirischen Stereoschwelle für uns selbst bestimmte stereoskopische Sehfähigkeit, ausgedrückt durch die minimale noch erkennbare Parallaxe, weicht ja auch kaum von dem von Moessner 1955 gefundenen Mittelwert ab. Wir durften daher vermuten, daß die eruierte Stereoschwelle tatsächlich für mittlere Verhältnisse gültig ist, womit sich die Einführung eines Korrekturfaktors erübrigte.

Dagegen ist ferner zu beachten, daß eine auf empirischen Resultaten basierende Stereoschwelle für die minimale Objekthöhe einen eher zu großen Wert angibt. Dies ist deshalb der Fall, weil es sich bei den räumlichen Effekten nicht immer um absolute Objekthöhen, sondern zum Teil nur um relative Höhenunterschiede handelt. Solche treten immer dann auf, wenn ein untersuchtes Feld mit einer bestimmten Wuchshöhe auf keiner Seite an ein mehr oder weniger flaches Objekt ohne Ausdehnung in die dritte Dimension (z. B. Weg oder Straße, gemähte Wiese, abgeernteter oder unbewachsener Acker) angrenzt. In diesem Fall hebt sich unter Umständen etwa ein Getreidefeld, dessen

Wuchshöhe an und für sich über der Stereoschwelle liegen würde, räumlich nicht von der Umgebung ab. Konstellationen dieser Art sind aber eher selten, so daß ihr Einfluß nicht allzu hoch einzuschätzen ist. Außerdem hat man mit der empirischen Stereoschwelle den Vorteil, daß die tatsächlichen Verhältnisse, wie sie im Mittel bei der Betrachtung von Luftbildern vorliegen, schon mitberücksichtigt sind. Immerhin ist eine gewisse Abhängigkeit der Stereoschwelle von der Jahreszeit zu erwarten. Das kann sich etwa so auswirken, daß im Sommer vor der Getreideernte der Wert für die Stereoschwelle eher höher als das Mittel liegt, da dann die meisten Nutzungstypen eine Wuchshöhe über der Schwelle aufweisen, so daß das Erkennen des individuellen Stereoeffektes erschwert ist. Umgekehrt ist im Herbst die Schwelle eher unter dem Mittelwert für die ganze Untersuchungsperiode anzunehmen, da dann der größte Teil der Felder und Wiesen abgeerntet resp. gemäht ist, so daß ein allfälliger Stereoeffekt besser erkennbar ist.

6.4 Das jahreszeitliche Auftreten des Stereoeffektes

Auf Grund der empirisch ermittelten Stereoschwelle und der bei den einzelnen Kulturen beobachteten Wuchshöhen (s. Abb. 1, nach p. 17) wurden nun bei einem gegebenen Maßstab von 1:10 000 für

die einzelnen Nutzungsarten die zu erwartenden Prozentsätze der Felder mit Stereoeffekt in Abhängigkeit von der Jahreszeit errechnet. Das Auftreten des Stereoeffektes wird also auf diese Weise theoretisch vorausgesagt, in der Annahme, daß Kulturen mit einer die Stereoschwelle übertreffenden Wuchshöhe räumlich sichtbar, Kulturen mit einer kleineren Wuchshöhe dagegen stereoskopisch nicht faßbar sind. Dieses Vorgehen steht im Gegensatz zur Ermittlung des jahreszeitlichen Auftretens der Texturen, das direkt auf Grund der auf den Photos vorgenommenen Auszählungen basierte.

Für die Bestimmung der zu erwartenden Prozentsätze mußten die Wuchshöhestreuungen der einzelnen Nutzungstypen beachtet werden. Mit Hilfe von Feldbeobachtungen berechneten wir eine allgemeine Regressionsgleichung für die Streuung der Wuchshöhe. Wir nahmen dabei an, daß sie im wesentlichen von zwei Faktoren abhängig ist, nämlich von der absoluten mittleren Wuchshöhe und von der Wuchsrate (= Geschwindigkeit des Wachstums). Die Gleichung lautet wie folgt:

$$s_h = 1,26 + 0,06 h + 2,88 r$$

s_h bedeutet Streuung der Wuchshöhe, h mittlere Wuchshöhe in cm und r Wuchsrate in cm/d. Bei bekannten Wachstumskurven und zugehöriger Streuung konnten nun die zu erwartenden Prozentsätze der Felder mit Stereoeffekt als Funktion der Jahreszeit dargestellt werden (s. Abb. 25 und 26).

Eine Kurve verläßt die 0%-Linie, wenn die zugehörige Kulturart eine Wuchshöhe von $(58 - 3 s_1)$ cm erreicht hat, passiert die 50%-Linie, wenn die Höhe 58 cm beträgt, und endet auf 100%, wenn die Höhe den Wert $(58 + 3 s_2)$ cm annimmt. s_1 und s_2 stellen dabei die Streuungswerte zu den betreffenden Zeitpunkten dar⁷⁾. Das jahreszeitliche Auftreten des Stereoeffektes ist also eng verknüpft mit den Wuchskurven, und mit dem Hinweis auf Abb. 1 (nach p. 17) können wir uns deshalb detailliertere Bemerkungen ersparen.

⁷⁾ Mit der Variationsbreite $\pm 3s$ werden praktisch 100% aller Fälle erfaßt.

STEREOEFFEKT bei GETREIDE und RAPS

MASSTAB 1:10'000 mit STEREOSCHWELLE 58 cm

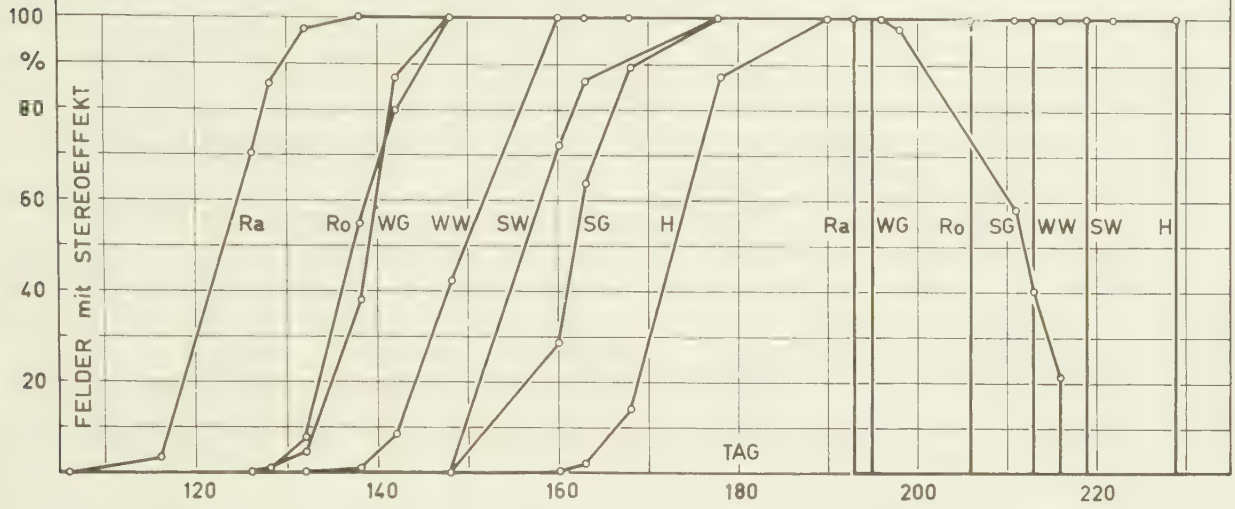


Abb. 25 Das Auftreten des Stereoeffektes bei Getreide und Raps in Abhängigkeit von der Jahreszeit

Die Kurven sind gültig für: $M = 10\,000$,
 $h_{min} = 58\text{ cm}$, $p_{min} = 0,05\text{ mm}$

STEREOEFFEKT bei WIESEN und HACKFRÜCHTEN

MASSTAB 1:10'000 mit STEREOSCHWELLE 58 cm

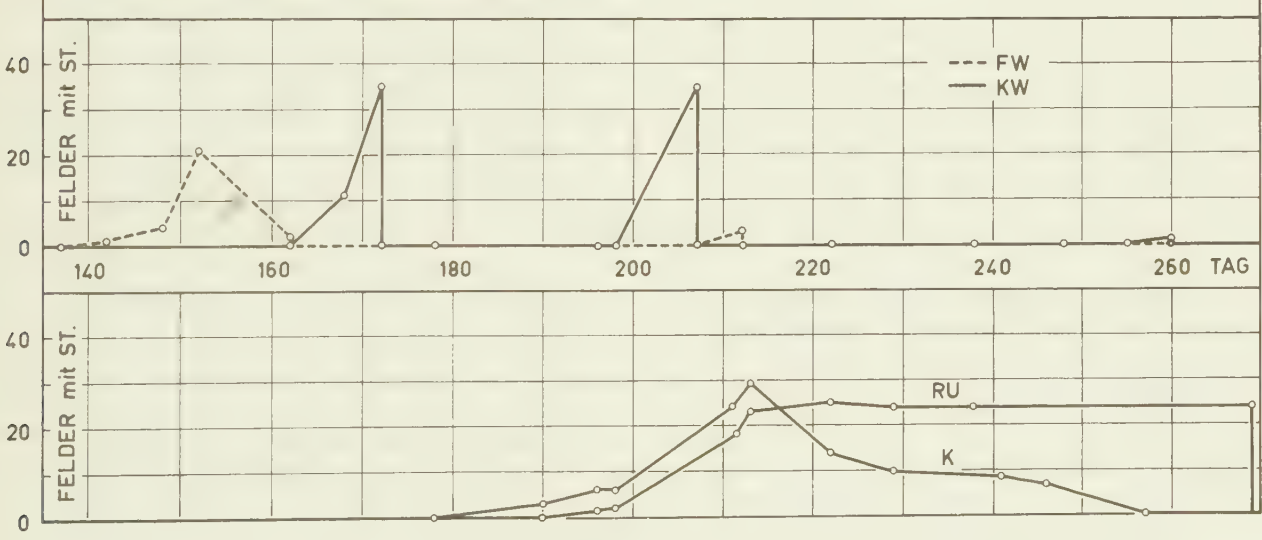


Abb. 26 Das Auftreten des Stereoeffektes bei Wiesen und Hackfrüchten in Abhängigkeit von der Jahreszeit

Die Kurven sind gültig für: $M = 10\,000$,
 $h_{min} = 58\text{ cm}$, $p_{min} = 0,05\text{ mm}$

7. Die günstigsten Jahreszeiten für die Interpretation der Landnutzung

7.1 Die Interpretationsstufen

Nachdem wir nun in den vorangehenden Kapiteln die notwendigen technischen Probleme besprochen und die Qualifikation der Interpretationskriterien sowie ihr Verhalten während des Sommerhalbjahres erläutert haben, soll im folgenden dargelegt werden, wie auf Grund dieser Resultate die für die Interpretation günstigsten Jahreszeiten ermittelt werden können.

Wir nehmen an, daß die Interpretation der Landnutzung stufenweise erfolgt, indem von größeren Gruppen von Landnutzungstypen zu Unterabteilungen und schließlich zu den einzelnen Kulturen fortgeschritten wird (s. Tab. 11, p. 42). Auf diese Weise erhalten wir für jede Stufe Gruppen mit zwei bis drei Kulturen, deren gegenseitige Unterscheidbarkeit untersucht werden muß. Dabei ist zu beachten, daß die auf einer bestimmten Stufe ermittelten Erfolgsprozente nur unter der Voraussetzung als verbindlich betrachtet werden können, daß die Ausscheidung der übergeordneten Gruppe auf der vorhergehenden Stufe zu 100% geglückt ist. Diese zunächst unabhängige Behandlung der einzelnen Stufen erlaubt dann anschließend eine Zusammenfassung der Resultate in zwei Richtungen:

1. Horizontale Kombination: Die ermittelten günstigen Jahreszeiten¹⁾ für alle auf einer bestimmten Stufe vorkommenden Unterscheidungsziele werden miteinander verglichen. Dieser Vergleich gibt darüber Auskunft, ob zu einer gewissen Zeit alle auf der betreffenden Stufe neu vorgenommenen Differenzierungen gleichzeitig durchgeführt werden können. Eine Aussicht dazu besteht immer dann, wenn die günstigen Zeiten eine Kongruenz zeigen.

2. Vertikale Kombination: Die ermittelten Jahreszeiten werden über alle Stufen entweder für die

ganze landwirtschaftliche Nutzfläche oder aber nur für einen Zweig der Nutzung (z. B. nur für offenes Ackerland oder nur für Getreide) miteinander verglichen. Damit erhält man Auskunft, wieweit die Interpretation zu bestimmten Zeiten ins Detail getrieben werden kann. Wenn z. B. die Zeiten von der ersten bis zur vierten Stufe irgendwann eine Übereinstimmung zeigen, dann kann die Interpretation mit einem gewissen Erfolg bis zu den Details auf der vierten Stufe durchgeführt werden. Dagegen wird sie entsprechend beschränkt, wenn die Übereinstimmung z. B. nur zwischen der ersten und der zweiten Stufe besteht. In dieser Hinsicht ist die Tabelle eindeutig, indem sie die Möglichkeiten für schrittweise Interpretation aufzeigt. Uneindeutig ist sie hingegen für jene Fälle, in denen eine günstige Zeit auf einer höheren Stufe angegeben ist, die aber nicht gleichzeitig von eben solchen Zeiten auf den vorangehenden Stufen begleitet wird. Diese Konstellation bedeutet nämlich nicht unbedingt, daß die auf der höheren Stufe als möglich eingetragene Differenzierung nicht vorgenommen werden kann, weil die Tabelle keine günstigen Aussichten für die vorangehenden Schritte anzeigt. Es kann durchaus vorkommen, daß eine z. B. auf der dritten Stufe neu ausgeschiedene Kulturart sich derart vom ganzen übrigen Nutzungsspektrum abhebt, daß sie direkt unter Umgehung der Schritte 1 und 2 erkannt werden kann. Die gute Erkennbarkeit einer bestimmten Nutzungsart muß sich ja je nach ihrem Flächenanteil²⁾ an der übergeordneten Gruppe nicht unbedingt auf die Unterscheidungsrate der vorangehenden Stufe auswirken. Die Fälle, in denen eine direkte Interpretation möglich ist, konnten mit diesem Verfahren nicht statistisch erfaßt werden. Falls aber nach unserer Erfahrung derartige Aussichten bestehen, sind entsprechende Hinweise unter dem Stichwort »Direkte Interpretation« angegeben³⁾.

²⁾ In den Erfolgsraten sind die Flächenanteile berücksichtigt (s. 7.2, p. 43).

³⁾ Für eine allfällige Verschlüsselung müßte die Technik so gewählt werden, daß der Schlüssel nicht nur über die Möglichkeiten der schrittweisen, sondern auch über die der direkten Interpretation Auskunft geben könnte.

¹⁾ Die »günstige Jahreszeit« sei hier schon definiert als Zeitraum, während dem die Erfolgsrate für eine bestimmte Kulturart über 50% bleibt.

Tab. 11 Die Stufen der Landnutzungsinterpretation

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Die Zahlen geben die Flächenanteile an der übergeordneten Nutzungsgruppe in Prozent an				
		Getreide (G) 69,9	Wintergetreide (WG) 76,7	Winterweizen (WW) 84,4 Wintergerste (WG) 6,3 Winterroggen (Ro) 9,3
			Sommergetreide (SG) 23,3	Sommerweizen (SW) 16,4 Sommergerste (SG) 31,2 Hafer (H) 52,4
	Offenes Ackerland (A) 29,0		Hackfrüchte i. e. S. (H) 95,0	Kartoffeln (K) 71,6 Runkelrüben (Ru) 28,4
Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) 100,0		Hackfrüchte i. w. S. (H) 30,1		
	Wiesen (W) 71,0	Naturwiesen (NW) 73,5 Kunstwiesen (KW) 26,5	Raps (Ra) 5,0	

7.2 Die Berechnung der Erfolgsraten

Zunächst bestimmten wir einzeln die Unterscheidungsmöglichkeiten mit den Indikatoren Grauton, Textur und Stereoeffekt, indem immer zwei verschiedene Kulturarten paarweise miteinander verglichen wurden. Anschließend wurden die mit den drei Indikatoren erzielten Ergebnisse miteinander kombiniert und die Resultate entsprechend den auf den einzelnen Interpretationsstufen (s. Tab. 11, p. 42) zu unterscheidenden Nutzungsarten gruppenweise zusammengefaßt. Damit erhielten wir die Erfolgsraten, die eine Identifikationsmöglichkeit durch den Prozentsatz von Feldern ausdrücken, die auf Grund der Qualitäten der untersuchten Interpretationskriterien theoretisch erkannt werden können. Die quantitativen Aussagen über die Erfolgsaussichten in Abhängigkeit von der Jahreszeit ergaben somit eine Vergleichsbasis, die es erlaubte, die geeignetsten Zeiten für die Interpretation zu bestimmen. Für die Ermittlung der Erfolgsraten wurde im Detail wie folgt vorgegangen:

Grauton. Die Möglichkeiten für die Unterscheidung verschiedener Nutzungstypen auf Grund des Grautons konnten mit Hilfe der Grautonstreuungen resp. -Variationsbreiten bestimmt werden. Zwei Kulturen sind zu 100% voneinander unterscheidbar, wenn sich ihre Grautonbänder (s. Abb. 8–18) nicht überschneiden, sie sind teilweise unterscheidbar, wenn eine partielle Überschneidung vorliegt, und sie sind nicht voneinander unterscheidbar, wenn die Überlagerung vollkommen ist. Die Begrenzung der Variationsbreiten könnte an und für sich durch die Werte $+3s$ und $-3s$ ⁴⁾ gegeben werden, die praktisch 100% aller Fälle erfassen würden. Wir wählten jedoch dafür nur $+2s$ und $-2s$, die rund 95% aller Fälle einschließen. Dies ergibt den Nachteil, daß wir im schlechtesten Fall mit einem Fehler von 5% pro Kulturart rechnen müssen, andererseits aber den hier stärker ins Gewicht fallenden Vorteil, daß sich die Erfolgsraten beträchtlich erhöhen, da die Variationsbreiten um einen ganzen Drittel zusammenschrumpfen. Es wurden nun der Reihe nach je zwei Nutzungstypen einander gegenübergestellt und die außerhalb des Überschneidungsgebietes liegenden Prozentsätze der Felder bestimmt, woraus sich die gegenseitige Unterscheidungsmöglichkeit ergab.

In weiteren Schritten wurden nun die einzelnen Nutzungstypen je nach ihrer Einteilung (s. Tab. 11, p. 42) sukzessive zu immer größeren Gruppen zu-

sammengefaßt und auf jeder Stufe wieder die Differenzierungsmöglichkeiten untersucht. Dazu wurde für die beteiligten Gruppen die gesamte Grautonvariationsbreite aufgezeichnet, die durch die höchste und die tiefste 2s-Linie gegeben war. Mit Hilfe der früher bestimmten individuellen Unterscheidungsdaten konnten nun die Prozentsätze der außerhalb des Überdeckungsgebietes liegenden Felder der in einer Gruppe vorkommenden einzelnen Nutzungstypen angegeben werden. Zur Ermittlung der gruppenweisen Unterscheidbarkeiten wurden diese Werte anschließend nicht einfach gemittelt, sondern zuerst noch mit den Flächenanteilskoeffizienten, wie sie sich aus der Statistik (Eidgenössisches Statistisches Amt 1959) ergaben (vgl. Tab. 11, p. 42), multipliziert. Damit konnte der Aussagewert der Erfolgsraten auf die im Mittel im schweizerischen Mittelland herrschenden Verhältnisse zugeschnitten werden. Auf diese Weise nehmen die einzelnen Nutzungsarten je nach ihrer Bedeutung (in Fläche ausgedrückt) auf die Gruppenerfolgsraten Einfluß⁵⁾.

Die Ermittlung der Erfolgsraten innerhalb der Untersuchungsperiode (Tag 100–269) erfolgte im Prinzip im regelmäßigen Abstand von fünf Tagen an einer Reihe von Stichdaten. Erntetage, die in die Intervalle zu liegen kamen, galten je nach ihrer Lage zum nächstbenachbarten Stichdatum als ersetzende oder ergänzende Stichtage. Für diese Tage mußten immer zwei Erfolgsraten bestimmt werden, da ein konzentrierter Erntevorgang angenommen wurde. Die erste war dann repräsentativ für den Zustand vor, die zweite für den Zustand nach der Ernte⁶⁾.

Textur. Zur Bildung der Erfolgsraten bei der Interpretation mit der Textur wurden die ermittelten Prozentsätze der Felder mit typischer Textur (vgl. Abb. 21–23) verwendet. Wiederum stellten wir die einzelnen Kulturarten einander paarweise gegenüber. Falls die beteiligten Texturen als unterscheidbar betrachtet wurden, konnten direkt die Texturprozentwerte als Erfolgsraten übernommen werden. Wenn dagegen die Texturen

⁴⁾ Im einzelnen können die Verhältnisse innerhalb des Mittellandes je nach Bodennutzungssystem stark schwanken. In der Praxis müßte deshalb die Interpretation mit stärker regional beschränkten Schlüsselns durchgeführt werden. Dabei müßten für die Angabe der Erfolgsraten auch die Flächenanteile nach den lokalen Gegebenheiten abgeändert werden.

⁵⁾ Die Annahme eines konzentrierten Erntevorgangs war durch die Notwendigkeit der Vereinfachung bedingt. Der Einfluß einer Ernte auf die Interpretationsaussichten wird damit in überspitzter Weise dargestellt. In Wirklichkeit ergäben sich die damit verknüpften Änderungen allmählich. Auf diese Vereinfachung ist schon im Kapitel Textur hingewiesen worden (vgl. 5.5, p. 35).

⁴⁾ s ist das Streuungsmaß, s. 4.6, p. 27.

gleichartig und nicht differenzierbar waren, ergab sich eine Unterscheidungsmöglichkeit von 0%. Ausnahmen von dieser Regel kamen dadurch zustande, daß wir wiederum eine maximale Fehlerwahrscheinlichkeit von 5% pro Nutzungstyp in Kauf nahmen. Praktisch wirkte sich das so aus, daß eine Textur, die z. B. im Nutzungstyp A zu nur 5%, im Typ B dagegen zu 60% vertreten war, eine Unterscheidbarkeit von 0:60 zur Folge hatte.

Bei der gruppenweisen Zusammenfassung wurde im Prinzip gleich verfahren wie bei der Errechnung der individuellen Erfolgsraten, indem alle in den untersuchten Gruppen vorkommenden Texturen einander gegenübergestellt wurden. Daraus konnten, wieder unter Berücksichtigung der Flächenanteile, die Erfolgsraten für die übergeordneten Nutzungsgruppen abgeleitet werden.

Stereoeffekt. Die auf dem Stereoeffekt basierenden Unterscheidungsraten wurden in ähnlicher Weise wie die durch die Textur gegebenen errechnet. Es ließen sich dabei im wesentlichen folgende Fälle unterscheiden:

a) Totale zweiseitige Unterscheidbarkeit, wenn der Stereoeffekt in A zu 100, in B zu 0% vertreten war oder umgekehrt.

b) Partielle einseitige Unterscheidbarkeit, wenn A einen Prozentsatz zwischen 0 und 100, B einen solchen von 0 aufwies oder umgekehrt, oder wenn bei A zu 100% Stereoeffekt vorkam und B einen Prozentsatz zwischen 0 und 100 hatte oder umgekehrt.

Beispiele: A 70% B 0% ergibt Erfolgsverhältnis von 70:0.

A 100% B 40% ergibt Erfolgsverhältnis von 0:60.

c) Totale Nichtunterscheidbarkeit, wenn beide Typen entweder je 100% oder je 0% oder aber beliebige Prozentsätze zwischen 0 und 100 aufwiesen.

Diese Regeln wurden wiederum dadurch abgeschwächt, daß wie bei der Textur und beim Grauton der Fehler pro Nutzungstyp 5% betragen durfte. Damit ergab z. B. ein Verhältnis der Stereoeffektprozentsätze von 95:5 eine Unterscheidbarkeit von 100:100%.

Für die Ermittlung der gruppenweisen Erfolgsraten wurde entsprechend verfahren.

Kombination. Schließlich kombinierten wir die mit den drei Indikatoren gewonnenen Erfolgsraten, um ein Bild über die Interpretationsaussichten bei Verwendung aller drei Kriterien zu erhalten. Die Kombination basiert auf der Annahme, die drei Indikatoren seien voneinander unabhängig⁷⁾. Das Verfahren sei an einem konkreten Beispiel erklärt: Für einen bestimmten Nutzungstyp erreichen die Erfolgsraten an einem bestimmten Stichtag folgende Werte: 50% beim Grauton, 50% bei der Textur und 20% beim Stereoeffekt. Mit dem Grauton allein können also 50% aller Fälle identifiziert werden. Die Annahme der Unabhängigkeit bedeutet nun, daß die durch typische Textur ausgezeichneten Felder in zufälliger Weise über die gesamte Anzahl verteilt sind. Folglich können von den verbliebenen 50% nach Wahrscheinlichkeit nochmals 50% (= 25% der ganzen Anzahl) mit Hilfe der Textur erkannt werden. Mit Grauton und Textur zusammen erreichen wir deshalb eine Erfolgsrate von 75%. Von den restlichen 25% werden sich wahrscheinlich noch 20% (= 5% aller Fälle) durch typisches Verhalten hinsichtlich Stereoeffekt auszeichnen. Somit beläuft sich der Kombinationswert schlußendlich auf 80%. Als Beispiel sind in den Abb. 27–30 die von der Jahreszeit abhängigen Erfolgsraten bei der Unterscheidung von Getreide und Hackfrüchten dargestellt, und zwar sowohl für die einzelnen Indikatoren wie auch für die Kombination.

7.3 Die günstigsten Jahreszeiten für die Interpretation

Für alle Unterscheidungsziele, wie sie sich an Hand der Tab. 11 (s. p. 42) ergeben, wurden die Erfolgsraten in Diagrammen als Funktion der Jahreszeit aufgezeichnet (vgl. die Beispiele in Abb. 27–30). Daraus konnten die günstigen Jahreszeiten entnommen werden, wobei eine Erfolgsrate von über 50% als günstig bezeichnet wird. Die Ergebnisse sind in Abb. 31 und 32 übersichtlich dargestellt. Wir haben dort nicht nur die günstigen Jahreszeiten, wie sie sich auf Grund der Kombination ergaben, eingezeichnet, sondern auch die Perioden, die für einen einzelnen Indikator mehr als 25% Erfolg angeben, so daß sich für bestimmte Jahres-

⁷⁾ Sicher entspricht diese Annahme nicht immer der Wirklichkeit. Zum Beispiel muß vermutet werden, daß Naturwiesen mit hellem Grauton (auf dem Positiv) und solche mit wolkiger Textur eine gewisse Korrelation aufweisen. Je nachdem ob derartige Korrelationen positiver oder negativer Art sind, werden die Erfolgsarten erhöht oder erniedrigt. Trotzdem setzten wir aus Gründen der Vereinfachung für die Kombination Unabhängigkeit der Indikatoren voraus.

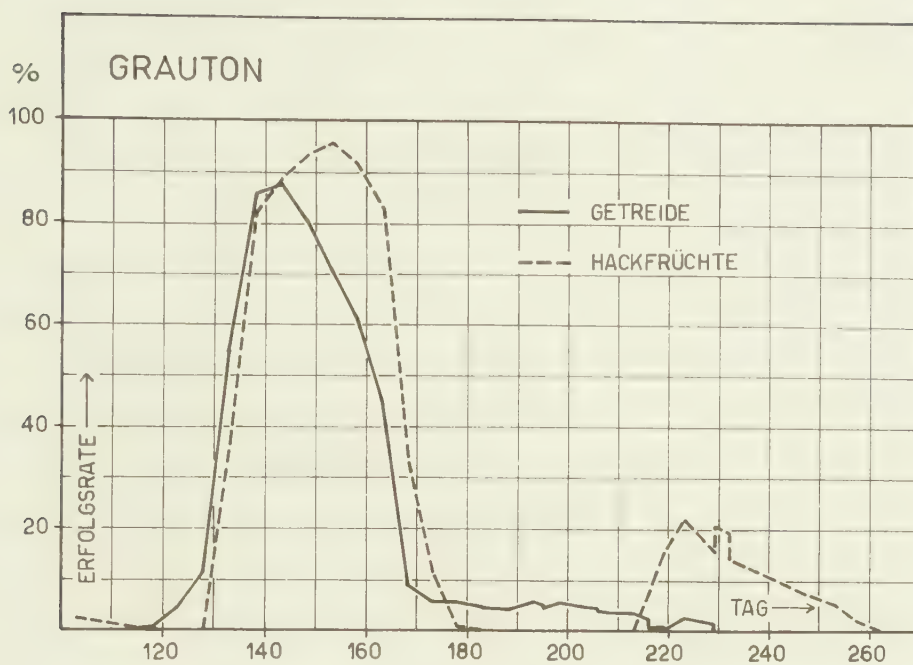


Abb. 27 Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund des Grautons

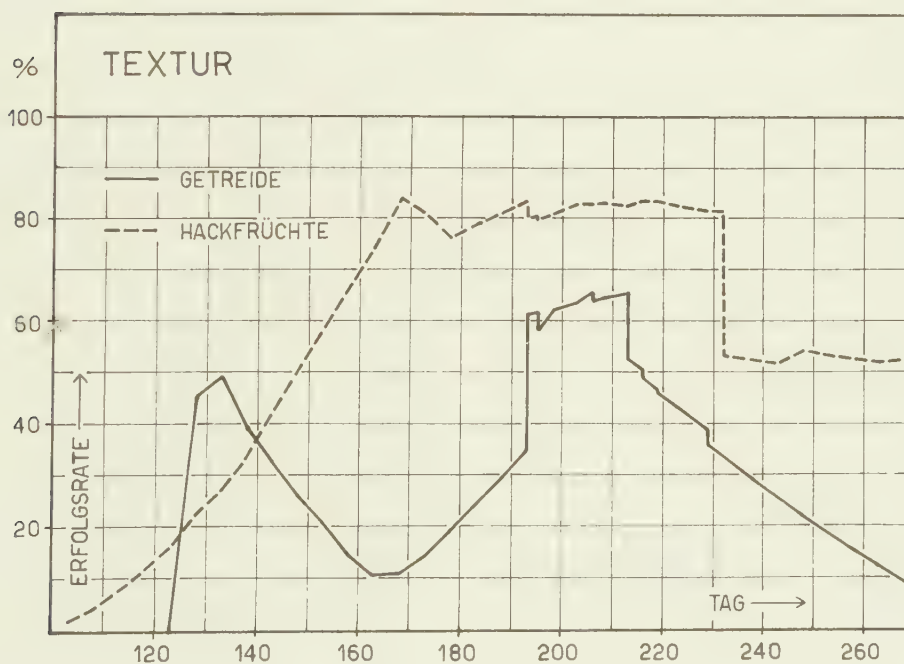


Abb. 28 Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund der Textur

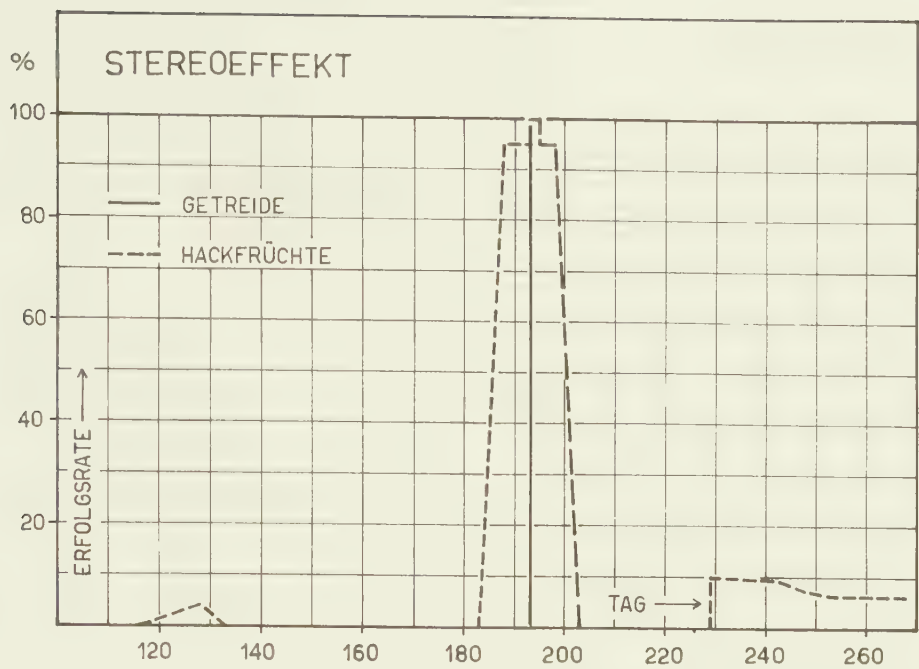


Abb. 29 Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund des Stereoeffektes

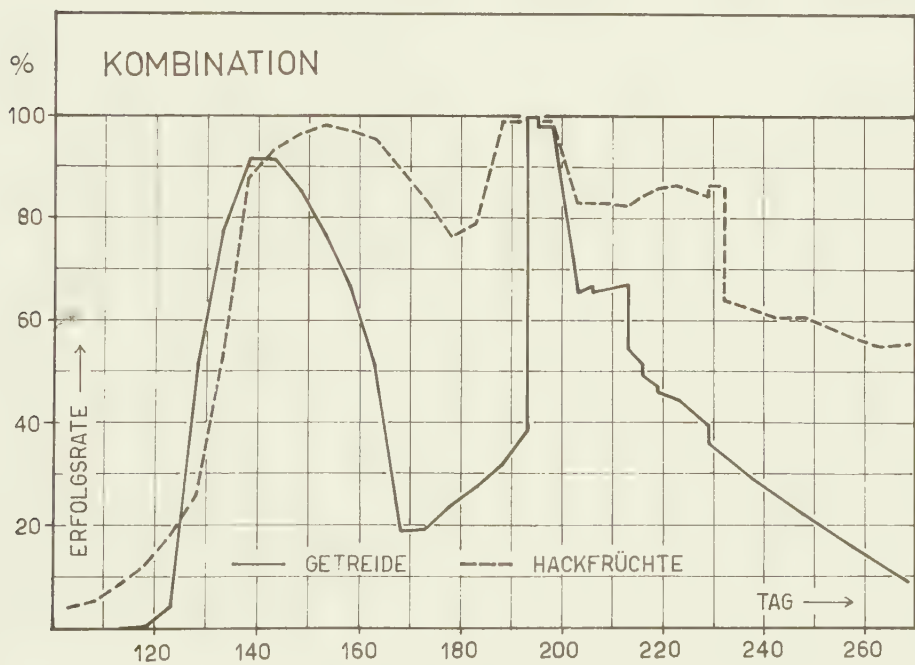


Abb. 30 Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund der Kombination aus allen drei Indikatoren

zeiten sofort ersehen läßt, welchem Interpretationshilfsmittel die Hauptbedeutung zukommt. Im übrigen sind die notwendigen Erklärungen den Abbildungen beigegeben.

An Hand dieser Abbildungen sollen nun die günstigen Jahreszeiten einzeln diskutiert werden.

Interpretationsstufe 1: Unterscheidung offenes Ackerland/Wiesen.

Die Kombinationskurve für das offene Ackerland allein erreicht fast während der ganzen Untersuchungsperiode ziemlich hohe Werte (von 112 bis 260 und von 267 bis 269 über 50%⁸⁾). Wir beschränken uns auf die Besprechung der Perioden, die eine Erfolgsaussicht von über 75% anzeigen:

(1) *Dauer 143–151.* An diesem Maximum ist vor allem die Textur (rund 58%) beteiligt. Da diese (streifig bei Getreide, körnig bei Raps, scheckig und linig [Furchen] bei Hackfrüchten i. e. S.) jedoch über längere Zeit ungefähr dieselben Erfolgschancen verspricht, wird die Spitze erst dadurch ausgeprägt, daß auch die Kurven für Grauton und Stereoeffekt etwas ansteigen.

(2) *Dauer 159–165.* Für diese kurze günstige Periode ist wiederum die Textur in etwa gleich starkem Maße (rund 59%) verantwortlich. Ihr steht nun jedoch während weniger Tage der Stereoeffekt ungefähr gleichwertig (maximal 61%) zur Seite. Die typischen Texturen sind noch dieselben wie bei (1). Der Raps und der größte Teil der Getreidefelder zeigen Stereoeffekt, während die Kunstwiesen nach dem ersten Schnitt (137) noch nicht eine genügende Wuchshöhe erreicht haben und die Naturwiesen zu diesem Zeitpunkt (162) geschnitten werden (Heuet) (vgl. Bild 3–6).

(3) *Dauer 172–216.* Auch während dieser Periode ist die Textur (Getreide: streifig, fleckig [Windwurf], Erntetexturen; Hackfrüchte: körnig, Erntetexturen [beim Raps]) ein sehr wichtiger Indikator (Erfolgsrate ständig über 60%). In einem ersten Teil (172–199) hat jedoch auch der Stereoeffekt wesentliche Bedeutung (über 50%). Zu dieser Zeit weisen fast alle Getreidefelder und der Raps Stereoeffekt auf, während die Wiesen nach dem ersten (Naturwiesen) resp. zweiten (Kunstwiesen) Schnitt erst eine geringe Wuchshöhe erreicht haben. Wenn nur das offene Ackerland allein identifiziert werden soll, ist diese Periode (3) am günstigsten (vgl. Bild 7 und 8).

(4) *Dauer 225–232.* Die Textur ist auch hier der wichtigste Indikator (maximal 61%). Das Ackerland zeichnet sich durch Erntetexturen beim Getreide, durch körnige (Spätkartoffeln, Runkelrüben), fleckige und linige (Frühkartoffeln) Musterungen aus.

(5) *Dauer 250–260.* In dieser letzten sehr günstigen Jahreszeit kommt nun dem Grauton erhöhte Bedeutung zu (maximal 68%), während die Brauchbarkeit der Textur geringer ist. Das offene Ackerland enthält zu dieser Zeit einen großen Prozentsatz von hellen (Pos.⁹⁾) Stoppelfeldern und unbewachsenen Äckern (umgebrochen oder neu bestellt), die sich gegenüber den dunkleren Wiesen abheben (vgl. Bild 9).

Zum Spätsommer- und Herbstaspekt (nach der Ernte der Hauptkulturen) der mittelländischen Agrarlandschaft müssen hier noch einige allgemeine Bemerkungen gemacht werden, da bei der Behandlung des Einflusses der Jahreszeit auf die Indikatoren nur die Hauptfrüchte berücksichtigt worden sind. Nach ihrer Ernte bleiben die Felder zum Teil in abgeerntetem Zustand liegen, zum Teil werden sie allmählich umgebrochen und für die Ansaat von Nachfrüchten oder neuen Hauptkulturen für das nächste Jahr bestellt. Zunächst ist einmal festzuhalten, daß für die Negativschwärzung der unbewachsenen Äcker (umgebrochen oder neu bestellt, aber noch kein Pflanzenwuchs sichtbar) ein mittlerer konstant bleibender Wert angenommen wurde ($M = 1,06$, $s = 0,060$). Auch für die Getreide- und Rapsstoppelfelder errechneten wir für den Zustand unmittelbar nach der Ernte einen mittleren Schwärzungswert ($M = 0,98$, $s = 0,078$, in den Schwärzungsdiagrammen eingezeichnet, s. Abb. 8–13 und 16). Dieser Aspekt bleibt aber nicht konstant, sondern die Stoppelfelder werden durch nachtreibendes Unkraut langsam dunkler (Pos.). An Hand der Messungen auf den Negativen ergab sich durch lineare Extrapolation für den Tag 269 ein Schwärzungswert von 0,86 ($s = 0,091$). Der Einfachheit halber faßten wir trotz der verschiedenen Erntetermine alle Stoppelfelder zusammen und nahmen eine regelmäßige Abnahme der Negativschwärzung zwischen einem mittleren Erntedatum für Getreide und Raps (210) und dem Tag 269 an. Vorher wird die Schwärzung als unveränderlich betrachtet. Die Stoppelfelder tragen die typischen Texturen, die wir unter 5.5 (Getreide, p. 33) besprochen haben. Mit der Zeit verschwinden sie allerdings zum Teil (Puppen: 27% (193), 0% (239); streifig (Mähstreifen): 61% (193), 45% (269); scheckig: immer 36%). An Hand der Anbauflächen und mittleren Ansaatdaten der Winterkulturen läßt sich auch eine stetige Abnahme ihrer Anzahl ableiten, indem sie umgebrochen werden und so unter die Kategorie »unbewachsene Äcker« fallen (Flächenanteil am Tag 213 nach der Winterweizenernte 48%, am Tag 269 14%). Zum weitaus größten Teil machen sich die Neuansaaten für die nächstjährigen Hauptkulturen während der Untersuchungsperiode aspektmäßig noch nicht bemerkbar. Eine Ausnahme bildet der Raps, dessen Negativschwärzung vom Zustand des unbewachsenen Ackers ($M = 1,06$) am Tag 252 auf 0,88 ($s = 0,076$) am Tag 269 fällt (aus Reflexionsmessungen umgerechnet). Außerdem waren noch die mit Herbstgrasig (vgl. Bemerkungen zu Tab. 1, p. 15) angesäten Felder zu berücksich-

⁸⁾ Die jeweils angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Numerierung der Tage in der Datumsstabelle (s. p. 71).

⁹⁾ Pos. = auf dem Positiv.

tigen. Ihre Negativschwärzung sinkt von 1,06 (= unbewachsener Acker) am Tag 229 auf 0,79 ($s = 0,054$) am Tag 269. An Texturen sind dieselben wie bei jungen Getreidesaaten sichtbar (streifig mit starkem Kontrast: 0% (224), 37% (235), 23% (269); streifig mit schwachem Kontrast: 0% (231), 45% (269)). Dieselben Musterungen zeigen sich übrigens auch beim Raps (streifig mit starkem Kontrast: 0% (248), 25% (269); streifig mit schwachem Kontrast: 0% (256), 14% (269)).

Über die Sukzessionen läßt sich auch bei bekannter vorherrschender Fruchtfolge wenig Verbindliches aussagen. Als einigermaßen sicher können lediglich folgende Folgen betrachtet werden: Raps als Ölfrucht wird auf eine früh-räumende Winterfrucht gebaut, Nachfruchtmischungen werden ebenfalls nach frühgeernteten Winterkulturen (vorwiegend Raps und Wintergerste, zum Teil auch Winterroggen) angesät, und auf Frühkartoffeln folgt ausschließlich unbewachsener Acker¹⁰). Einsaaten von Kunstwiesenmischungen erfolgen, falls nicht eine Neuanlage im nächsten Frühling bevorzugt wird, hauptsächlich in Gerste oder Weizen. Die Entwicklung der neuen Kunstwiesen nach der Getreideernte wurde übrigens nicht mehr speziell untersucht, sondern als mit derjenigen der übrigen Kunstwiesen (s. Abb. 18, 23 und 26) übereinstimmend betrachtet. Bei der Annahme dieser aspektmäßigen Kongruenz können die Flächenanteile von offenem Ackerland und Wiesen zwar noch richtig (da ein entsprechender Anteil von älteren Kunstwiesen wieder zu Ackerland umgebrochen wird), ihre genaue für das betreffende Jahr gültige räumliche Verteilung aber auf alle Fälle nicht mehr durchgehend sicher erfaßt werden. Vor allem infolge der Unsicherheiten der Nachfolge eignet sich die Zeit nach der Getreideernte für eine allgemeine Interpretation nicht gut. Gewisse spezielle Interpretationsziele können aber noch mit gutem Erfolg angestrebt werden, so die Identifikation des offenen Ackerlandes (s. p. 45, Periode (5)) und diejenige der Hackfrüchte i. e. S. (s. p. 47, Periode (3)).

Schwieriger ist die Interpretation des Grünlandes. Mit Hilfe unserer drei Interpretationskriterien kann nur im Mai (1) und noch ganz kurz Mitte Juni (2) ein Erfolg von über 50% erwartet werden. Gerade hier darf aber vermutet werden, daß zusätzliche Indikatoren (z. B. Lage und Form der Parzellen) die Erkennbarkeit der Wiesen, wenigstens der flächenmäßig sehr stark vertretenen Naturwiesen, wesentlich verbessern.

(1) *Dauer 120–147.* Die Identifikation kann praktisch nur mit Hilfe der Textur erfolgen. Die Wiesen, und zwar in erster Linie die Naturwiesen, sind zu dieser Zeit durch die unverkennbare wolkige Textur (blühende Pflanzen) ausgezeichnet. Die Spitze bei 137 ist darauf zurückzuführen, daß nach dem ersten Kunstwiesenschnitt zusätzlich auch Mähstreifen als typisches Merkmal des Grünlandes auftreten (vgl. Bild 1 und 2).

(2) *Dauer 162–164.* Auch hier basiert die Unterscheidungsmöglichkeit ausschließlich auf der Textur. Die Naturwiesen werden geheut, was eine

starke Häufung der Mähstrukturen zur Folge hat. Daneben zeigen die Kunstwiesen zu einem kleineren Prozentsatz wiederum die wolkige Textur.

Falls beide Kulturarten gleichzeitig identifiziert werden sollen, erscheinen dieselben Zeiten wie für das Grünland allein am günstigsten¹¹).

(1) *Dauer 120–147.* Die Wiesen zeichnen sich durch die oben genannten Texturen aus. Das offene Ackerland ist ebenfalls zum größten Teil auf Grund der Textur (streifig starker Kontrast [Getreide und Raps], körnig [Raps], linig [Kartoffeln], scheckig [Runkelrüben]) erkennbar (maximal 58%). In der ersten Hälfte dieser Periode erreicht auch der Grauton für die Interpretation des Ackerlandes eine etwas höhere Erfolgsrate (maximal 45%). Die Wiesen können an Hand des Grautons nicht identifiziert werden, da ihre Variationsbreite innerhalb die der Ackerfrüchte fällt, die durch einen gewissen Prozentsatz von noch hellen (Pos.), wenig bewachsenen Parzellen (Sommergetreide, Hackfrüchte i. e. S.) gegenüber den dunkleren Wiesen auffallen (vgl. Bild 1 und 2).

(2) *Dauer 162–164.* Diese Zeit entspricht den oben besprochenen Situationen in Periode (2) beim offenen Ackerland und Periode (2) bei den Wiesen.

Interpretationsstufe 2: Unterscheidung Getreide/Hackfrüchte i. w. S.

Für die Identifikation des Getreides allein treten zwei Perioden besonders hervor, nämlich Mitte Mai bis Anfang Juni (1) und Mitte Juli (2). In beiden ist mehr als 75% Erfolg zu erwarten.

(1) *Dauer 132–154.* Während dieser Zeit gelingt die Aussonderung der Getreidefelder weitaus am besten mit Hilfe des Grautons (maximal 87%). Die mit Halmfrucht bestandenen Äcker zeigen alle eine schon mehr oder minder starke Bewachsung und damit einen dunkleren Ton (Pos.), während die den Hackfrüchten reservierten Felder noch nackten hellen Ackerboden aufweisen (Ausnahme: Raps, s. u.) (vgl. Bild 1 und 2).

(2) *Dauer 193–202.* Hier versprechen die Textur (maximal 62%) und vor allem der Stereoeffekt (100%) Erfolg. In den Getreidefeldern finden sich zum größeren Teil die typischen Texturen des Vorreife- und Reifestadiums (streifig mit schwa-

¹⁰) Eine Ausnahme bilden sehr früh geerntete Kartoffeln (z. B. Genferseebiet, vgl. Fußnote 37, p. 27).

¹¹) Die horizontale Kombination (vgl. 7.1, p. 41) wird so durchgeführt, daß die günstigen Zeiten für die Erkennung der beiden Kulturarten ohne Berücksichtigung ihrer flächenmäßigen Stärke miteinander verglichen werden.

chem Kontrast, fleckig [Lagerfrucht]), zum kleineren Teil bereits Erntetexturen (Wintergerste am Tag 195 geerntet). Mit dem Stereoeffekt als Indikator sind die Aussichten während weniger Tage noch besser: Nach der Rapsernte machen zunächst 100 % der Getreide einen räumlichen Eindruck, nach dem Beginn der Getreideernte (195) allmählich weniger, während die Hackfrüchte mit ihrer Wuchshöhe noch knapp unter der Stereoschwelle liegen (vgl. Bild 7 und 8).

Die Hackfrüchte i. w. S. können während des größten Teils der Untersuchungsperiode zu über 50 % identifiziert werden. Innerhalb einer längeren Zeitspanne, nämlich von Mitte Mai bis Mitte August, erreicht die Erfolgsrate sogar Werte über 75 %. Durch Maxima zeichnen sich Anfang Juni (1), Mitte Juli (2) und Mitte August (3) aus.

(1) *Dauer* ± 153 . Die Hackfrüchte heben sich durch ihren hellen, unbewachsenen Ackerboden entsprechenden Ton (maximal 96 %) ab. Dies trifft zum mindesten für die Kartoffeln und die Runkelrüben zu. Der Raps hat zwar schon eine beträchtliche Wuchshöhe erreicht, erfährt aber während seiner Blütezeit (s. Abb. 1, nach p. 17) eine starke Aufhellung (Pos.), so daß er während dieser Zeit in dieselbe Tonvariationsbreite fällt (vgl. Bild 1 und 2).

(2) *Dauer* ± 194 . Die Unterscheidung gelingt vor allem mit Textur (Maximum 84 %) und Stereoeffekt (Maximum 100 %). Die Hackfruchtäcker zeichnen sich durch ihr körniges Aussehen aus. Die schon geernteten Rapsfelder können allerdings Anlaß zur Verwechslung mit Getreidestoppelfeldern (nach der Wintergerstenernte, 195) geben. Der dadurch entstehende Fehler bleibt aber klein, da der Flächenanteil des Raps (s. Tab. 1, p. 7) gering ist. Auf den Aussagewert des Stereoeffektes ist bereits beim Getreide (Periode (2)) hingewiesen worden (vgl. Abb. 7 und 8).

(3) *Dauer* ± 223 und ± 230 . Hier ist die Textur am brauchbarsten (über 75 %, körnig bei Runkelrüben und Spätkartoffeln, fleckig und linig [Furchen] bei Frühkartoffeln). Außerdem heben sich die Hackfrüchte zum Teil auch durch ihren dunkleren Grauton (Maximum 22 %) gegenüber den eher hellen Stoppelfeldern und umgebrochenen Feldern heraus (vgl. Bild 9).

Für beide Kulturarten zusammen sind zwei Jahreszeiten die besten: Mitte Mai bis Anfang Juni (1) und Mitte Juli bis Anfang August (2) (Erfolgsrate in beiden Fällen über 50 %).

(1) *Dauer* 132–163. Diese Zeit entspricht im wesentlichen den Perioden (1) beim Getreide und (1) bei der Hackfrucht.

(2) *Dauer* 193–216. Die zugehörige Situation ist bei Periode (2) des Getreides und (2) der Hackfrüchte geschildert worden.

Interpretationsstufe 2: Unterscheidung Naturwiesen/Kunstwiesen

Die günstigsten Jahreszeiten für die Interpretation der Natur- und der Kunstwiesen fallen weitgehend zusammen, so daß wir direkt die Kombination für beide besprechen können. Es zeichnen sich durch eine Erfolgsrate über 50 % aus: Mai (1), Mitte Juni (2), Ende Juli (3), zweite Hälfte August (4) und zweite Hälfte September (5).

(1) *Dauer* 123–143. Die Unterscheidbarkeit basiert vor allem auf dem Grauton (Naturwiesen maximal 74, Kunstwiesen maximal 66 %). Zwar weisen beide Wiesenarten einen aufhellenden Gehalt von blühenden Pflanzen (wolkige Textur) auf, doch ist dieser bei den Naturwiesen im Mittel bedeutend intensiver und hat deshalb zur Folge, daß ihr Grauton zum größeren Teil außerhalb der Kunstwiesenvariationsbreite liegt. Der letzte Teil dieser Periode (137–143) fällt mit dem ersten Kunstwiesenschnitt zusammen. Die Erfolgsraten werden auf Seite der Kunstwiesen in erster Linie durch die Mähstreifentextur bestimmt, die infolge der Annahme eines konzentrierten Mähvorgangs einen hohen Prozentwert (maximal 74) erreicht. Da jedoch in Wirklichkeit die Mähdaten eine ziemlich große Streuung aufweisen dürften, ist die Günstigkeit dieses Zeitabschnittes eher als unsicher zu betrachten (vgl. Bild 1 und 2).

(2) *Dauer* 162–172. Hier kommt die hohe Unterscheidungsrate ausschließlich durch die stark vereinfachte Annahme zustande, daß alle Naturwiesen am selben Tag (162 = mittleres Heuetdatum) geschnitten werden. Ihre praktische Bedeutung dürfte deshalb bedeutend geringer sein (vgl. Bild 3–6).

(3) *Dauer* 207–212. Es gilt dasselbe wie bei (2), hier in bezug auf den dritten Kunstwiesenschnitt (207) (vgl. Bild 7 und 8).

(4) *Dauer* 226–241. In dieser Jahreszeit spielt wieder der Grauton als Indikator die Hauptrolle (maximal 72 % bei den Natur-, 74 % bei den Kunstwiesen). Nach dem Schnitt Ende Juli (Kunstwiesen 207, Naturwiesen 212) sind die Kunstwiesen etwas schneller nachgewachsen als die

Naturwiesen, was sich in einem Tonunterschied bemerkbar macht. Allerdings muß auch hier vermutet werden, daß in Wirklichkeit die Unterscheidbarkeit kleiner ist, da die Variationsbreite des Zustandes infolge der Streuung der Mähdaten recht groß sein dürfte.

(5) *Dauer 260–269.* Es gilt im Prinzip wieder das unter (2) und (3) Gesagte, hier in bezug auf den vierten Kunstwiesenschnitt (260). Immerhin dürfte in diesem Fall insofern auch in der Praxis ein gewisser Erfolg möglich sein, als man bei spät geschnittenen Wiesen vermuten muß, daß es sich um Kunstwiesen handelt (vgl. Bild 9).

Für die praktische Interpretation kommen nur die Perioden (1) und (4), eventuell noch (5) als aussichtsreich in Frage.

Interpretationsstufe 2: Horizontale und vertikale Kombination

Zunächst lassen sich die beiden Unterscheidungsziele auf der Stufe 2, nämlich die Differenzierung von Getreide und Hackfrucht und diejenige von Natur- und Kunstwiesen miteinander vergleichen. Daraus ergeben sich drei Zeiten, die für beide eine Erfolgsaussicht über 50% anzeigen: Mitte Mai (1), Mitte Juni (2) und Ende Juli (3).

(1): *Dauer 132–143.* Der Aussagewert der Indikatoren zu dieser Zeit wurde besprochen unter (1) beim Getreide, (1) bei der Hackfrucht und (1) bei den Wiesen.

(2) *Dauer 162–163.* Diese Periode fällt schon wegen ihrer Kürze und außerdem wegen der bei den Wiesen unter (2) genannten Gründen für die Interpretation außer Betracht.

(3) *Dauer 207–212.* Diese Zeit kommt ebenfalls kaum in Frage. Es sei auf die Angabe bei den Wiesen unter (3) verwiesen.

Für die praktische Interpretation bleibt nur die Periode (1) übrig.

Die vertikale Kombination führt zur Erhebung der Jahreszeiten, die für eine schrittweise allgemeine Interpretation bis zur Stufe 2 am günstigsten sind: Mitte Mai (1) und Mitte Juni (2).

(1) *Dauer 132–143.* Man vergleiche dazu bei allen bisher ausgeschiedenen Nutzungstypen (offenes Ackerland und Wiesen auf Stufe 1, Getreide, Hackfrucht, Natur- und Kunstwiesen auf Stufe 2) die Bemerkungen unter Periode (1).

(2) *Dauer 162–163.* Diese Zeit hat keine prak-

tische Bedeutung (s. o. unter horizontaler Kombination, Periode (2)).

Interpretationsstufe 3: Unterscheidung Winter-/ Sommergetreide

Die Differenzierung der beiden Getreidearten ist aus verständlichen Gründen recht schwierig. Sie durchlaufen ja dieselben Entwicklungsstadien, die auch durch ungefähr dieselben Merkmale ausgezeichnet sind. Eine Unterscheidung kann nur dann gelingen, wenn zu gewissen Jahreszeiten die zeitliche Differenz zwischen entsprechenden Entwicklungszuständen so groß ist, daß dies im Aspekt deutlich zum Ausdruck kommt. Zeitliche Unterschiede erscheinen dann im Bild als räumliches Nebeneinander.

Die Gruppe der Wintergetreide kann zu über 50% in der zweiten Hälfte April bis Anfang Mai (1) und Ende Mai (2) identifiziert werden.

(1) *Dauer 105–130.* Das Wintergetreide kann in erster Linie an Hand des Grautons (maximal 74%) erkannt werden. Es ist schon so hoch gewachsen, daß es im Luftbild einen eher dunklen Grauton erzeugt. Es hebt sich damit von den noch nahezu unbewachsenen und somit hellen Sommergetreideäckern ab. Eine kleinere Rolle spielt die Textur (maximal 38%): Die Wintergetreidefelder sind zum Teil bereits von der typischen streifigen Musterung überzogen, während dieselbe bei den Sommerkulturen noch nicht zu sehen ist (vgl. Bild 1 und 2).

(2) *Dauer 147–149.* In dieser äußerst kurzen und praktisch gesehen daher problematischen Periode gelingt die Separierung der Wintergetreide theoretisch vorwiegend mit dem Stereoeffekt (Maximum 51%). Diese Gruppe enthält zu dieser Zeit schon einen beträchtlichen Prozentsatz von Feldern mit Stereoeffekt, während die Wuchshöhe der Sommergetreide noch gänzlich unter dem kritischen Wert liegt.

Als günstigste Zeiten für die Interpretation des Sommergetreides heben sich Mitte Juni (1) und erste Hälfte August (2) heraus.

(1) *Dauer 160–172.* Das Sommergetreide unterscheidet sich von den Winterkulturen vor allem durch den Stereoeffekt (max. 66%). Die Wintergetreide ergeben zu 100% einen räumlichen Effekt, während die Sommergetreide erst kleinere Prozentsätze aufweisen. Die Felder ohne Stereoeffekt können deshalb als Sommergetreide erkannt werden (vgl. Bild 3–6).

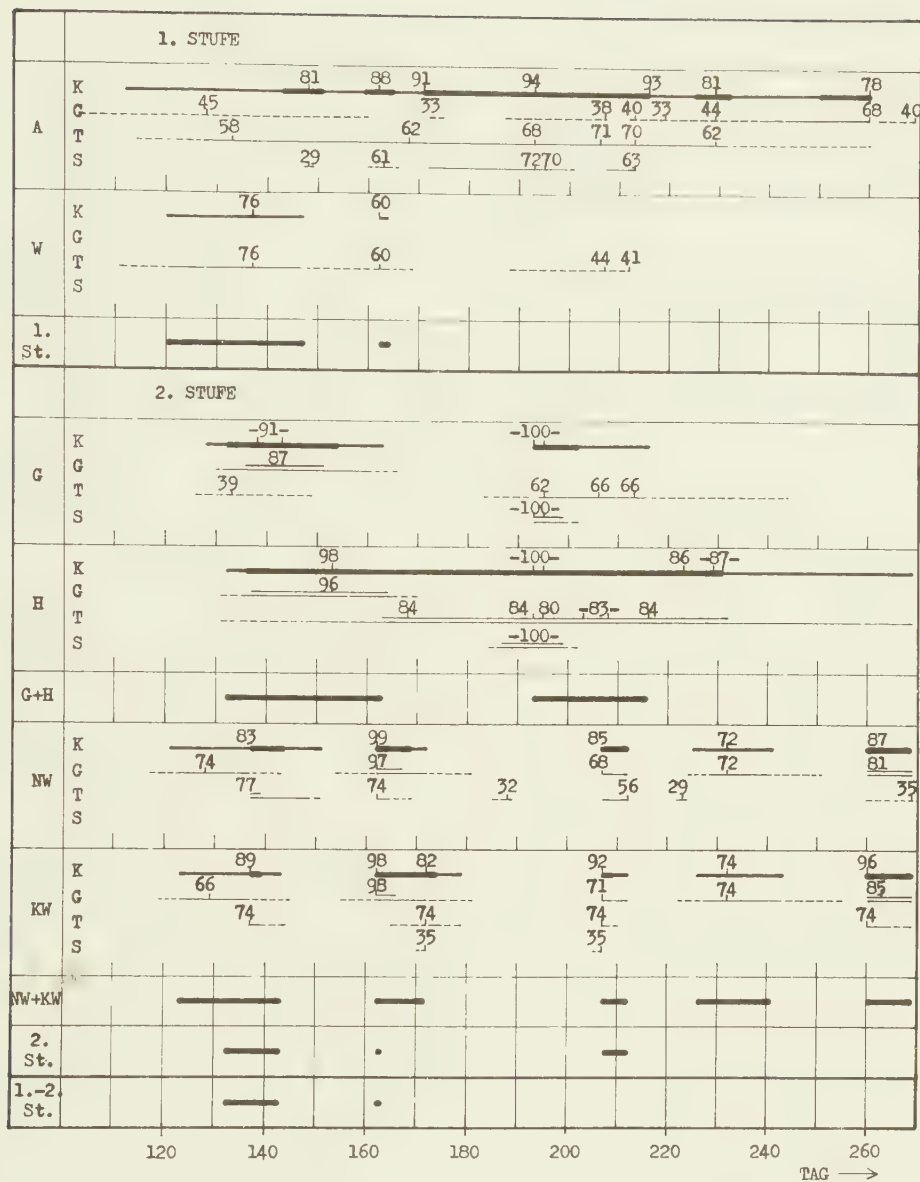


Abb. 31 Die günstigsten Jahreszeiten für die Landnutzungsinterpretation auf Stufe 1 und 2

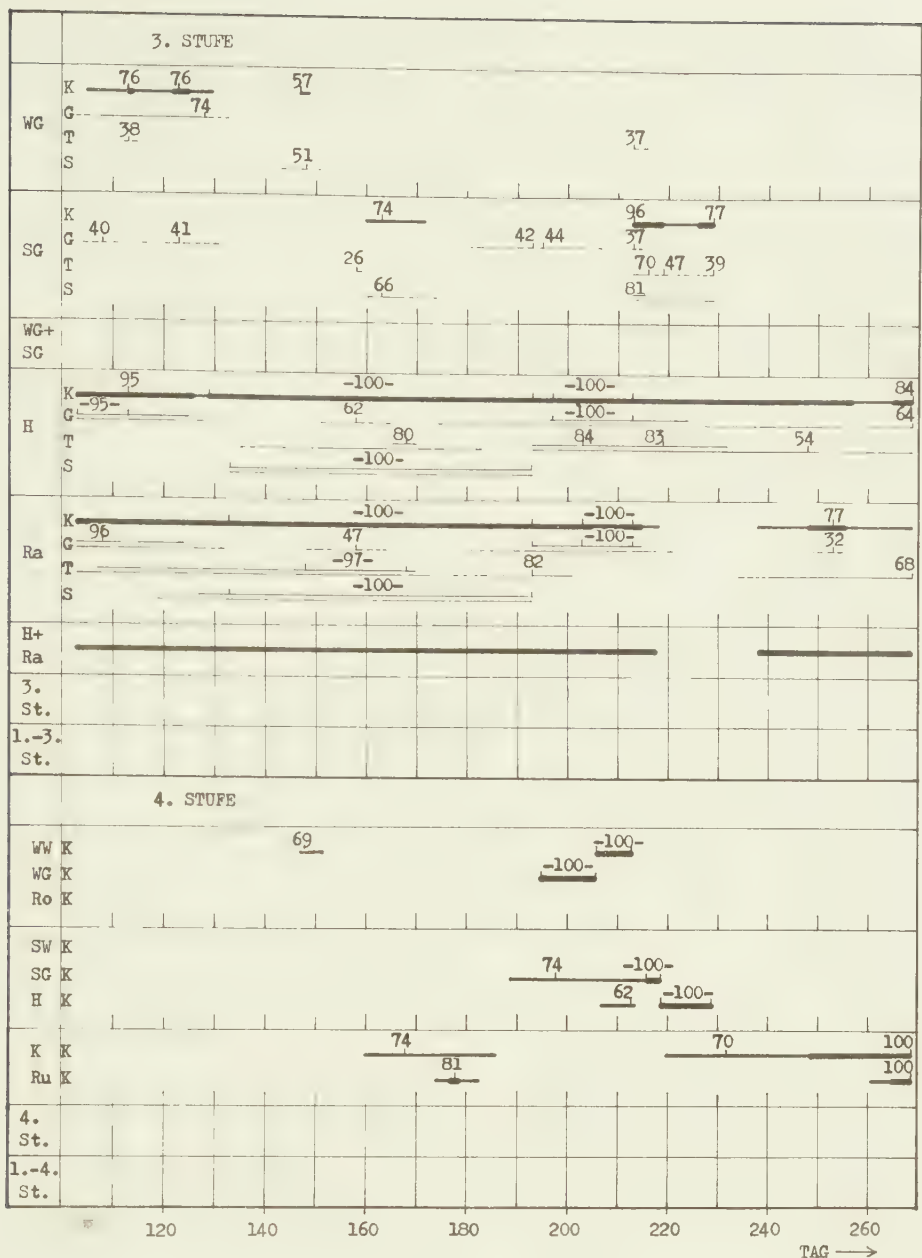


Abb. 32 Die günstigsten Jahreszeiten für die Landnutzungsinterpretation auf Stufe 3 und 4

Erklärungen zu Abb. 31 und 32:

In der Kolonne am Rande links sind die Identifikationsziele angegeben, und zwar entsprechen die Abkürzungen den Bezeichnungen in Klammer in Tab. 11, p. 42 (z. B. SG auf Stufe 3 = Sommergetreide, SG auf Stufe 4 = Sommergerste). Die Buchstaben rechts davon bedeuten folgendes: K = Kombination, G = Grauton, T = Textur, S = Stereoeffekt. Bei der Kombination steht ein dünner Strich für eine Erfolgsrate über 50, aber unter 75%, ein dicker für eine solche über 75%.

Bei den einzelnen Indikatoren (G, T und S) bedeuten: Gestrichelte Linie: Erfolgsrate über 25 und unter 50%, ausgezogene Linie: Erfolgsrate über 50 und unter 75%, doppelte Linie: Erfolgsrate über 75%.

Für die Zusammenfassungen (horizontale und vertikale Kombination) gibt der Strich das Zusammenfallen von Jahreszeiten mit über 50% Erfolg an.

Die Zahlen über den Linien geben die Maxima der Erfolgsraten an. Eine Zahl zwischen zwei Querstrichen (z. B. - 100 -) zeigt an, daß sich ein Maximum über einen längeren Zeitabschnitt (gekennzeichnet durch zwei kleine vertikale Striche) erstreckt.

Auf der vierten Stufe sind nur noch die Kombinationswerte eingezeichnet.

(2) *Dauer 213–229.* Die hohe Erfolgsrate beruht vor allem darauf, daß sich der Stereoeffekt (Maximum 81 %) und die Textur (Maximum 70 %) als Unterscheidungsmittel eignen, wenn nach der Winterweizenernte (213) alle Wintergetreidefelder abgeerntet sind. In Wirklichkeit ist aber wieder eine Streuung der Erntedaten und damit eine verminderte Unterscheidungsmöglichkeit zu erwarten. Immerhin darf angenommen werden, daß die zuletzt geernteten Felder zur Gruppe der Sommergetreide gehören. Die Brauchbarkeit dieser Jahreszeit für die Interpretation ist trotzdem als unsicher zu beurteilen.

Es gibt keine gemeinsame Jahreszeit, die für beide Kulturarten eine Unterscheidungsmöglichkeit von mehr als 50 % anzeigt. Die gleichzeitige Identifikation von Winter- und Sommergetreide ist deshalb praktisch nicht möglich. Der Grund, wieso die für die Wintergetreide günstige Periode (1) nicht auch eine Interpretation der Sommergetreidefelder erlaubt, ist der, daß die Grautonvariationsbreite der Sommergetreidearten recht klein ist und von derjenigen der Winterkulturen zum größten Teil aufgeschluckt wird. Die Variationsbreite der Wintergetreide ist bedeutend größer, da diese Gruppe uneinheitlich ist, indem der Winterweizen im Frühling phänologisch gesehen eine Mittelstellung zwischen Wintergerste und Winterroggen auf der einen und den Sommergetreidearten auf der anderen Seite einnimmt.

Interpretationsstufe 3: Unterscheidung Hackfrüchte i. e. S./Raps

Im Gegensatz zur Unterteilung der Getreidegruppe ist die Separierung der Hackfrüchte in Kartoffeln/Runkelrüben und Raps während der ganzen Untersuchungsperiode sehr gut möglich. Über längere Zeit beträgt der theoretische Erfolg sogar 100 % für beide Gruppen. Bei den Hackfrüchten i. e. S. allein treten folgende Zeiten mit Maxima auf: Mitte April bis Anfang Mai (1), erste Hälfte Mai bis Mitte Juni (2), zweite Hälfte Juli (3) und Mitte September (4).

(1) *Dauer ± 113 .* Das Hauptindiz bildet der Grauton (Maximum 95 %). Die Kartoffel- und Runkelrübenäcker sind alle noch unbewachsen und daher hell (Pos.), während der Raps die zu dieser Jahreszeit am weitesten fortgeschrittene Kulturart darstellt.

(2) *Dauer 129–193.* Die Interpretation gelingt am besten mit dem Stereoeffekt (immer 100 %), da die Kartoffeln und Runkelrüben im Gegensatz

zum Raps bei der stereoskopischen Betrachtung noch keinen räumlichen Eindruck machen. Zeitweise sind auch Grauton (Maximum 62 %) und Textur (Maximum 80 %) gute Hilfsmittel. Während der Blütezeit (122–152) bewegt sich der Grauton des Raps eine Zeitlang auf derselben Höhe wie der der Kartoffeln und Runkelrüben. Nach dem Verblühen aber (± 158) sinkt er wieder ab, wodurch sein Indikationswert wieder zunimmt (vgl. Abb. 14–16). Die Textur liefert die größte Unterscheidbarkeit, wenn die scheckige und die linige (Furchen-)Musterung in den Hackfrüchten i. e. S. ihre maximale Verbreitung erfahren (± 168) (vgl. Bild 1 und 3).

(3) *Dauer 198–213.* Hier leistet der Grauton als Unterscheidungskriterium die besten Dienste (immer 100 %), da die Variationsbreite des Raps nach der Ernte eine Zeitlang vollkommen außerhalb der bei den Hackfrüchten i. e. S. vorkommenden dunkleren (Pos.) Tönen liegt. Die Unterscheidbarkeit nimmt erst wieder ab, wenn die Frühkartoffeläcker mit ihren absterbenden Stauden hell zu werden beginnen. Auch die Textur (Maximum 84 %) ist gut brauchbar, da nach der Rapsernte die körnige Musterung ausschließlich den Kartoffeln und Runkelrüben reserviert ist (vgl. Bild 7).

(4) *Dauer 265–269.* Wiederum läßt sich die Unterscheidung bis zu einem gewissen Grad (Maximum 64 %) mit dem Grauton durchführen. Wenn wir annehmen, daß auf den früh geernteten Raps Nachfruchtsaaten folgen, ergibt sich folgende Situation: Die Herbstgrasigmischungen haben sich so weit entwickelt, daß ihre Grautöne zwar in den Bereich der Variationsbreite der Hackfrüchte i. e. S. fallen. Doch diese können zu einem guten Teil identifiziert werden, da die Spätkartoffeln vor der Ernte durch ihren hellen Ton (Pos.) aufzufallen beginnen, während die abgeernteten Frühkartoffelfelder stark reflektierende kahle Ackerflächen darstellen. Auch die Textur (Maximum 52 %) gibt Anhaltspunkte: fleckig und linig bei den Spätkartoffeln und körnig bei den Runkelrüben im Gegensatz zur streifigen Musterung der mit Nachfrucht bewachsenen Feldern.

Für den Raps allein zeigen folgende Perioden die höchsten Erfolgsraten: Mitte April bis Mitte Juli (1), zweite Hälfte Juli (2) und Ende August (3).

(1) *Dauer 133–193* Der Raps läßt sich mit Hilfe des Stereoeffektes (immer 100 %) von den übrigen Hackfrüchten unterscheiden (vgl. Periode (2) bei den Hackfrüchten i. e. S.). Daneben ist auch die

Textur, vor allem die körnige, ein gutes Indiz (maximal 97 %).

(2) *Dauer 203–213.* Hier kommt als Identifikationsmittel fast nur der Grauton (immer 100 %) in Frage (vgl. mit Periode (3) bei den Hackfrüchten i. e. S.).

(3) *Dauer 248–255.* Falls man die im betreffenden Jahr für Raps als Hauptkultur reservierte Fläche zu dieser Zeit als von Nachfruchtsaaten eingenommen betrachtet, zeichnet sie sich durch häufiges Auftreten streifiger Texturen aus (Maximum 66 %).

Wenn man die für beide Kulturarten günstigen Jahreszeiten (Erfolgsrate über 50 %) miteinander kombiniert, erhält man zwei längere Abschnitte, nämlich Mitte April bis erste Hälfte August (1) und Mitte August bis Mitte September (2).

(1) *Dauer 103–218.* Es gilt das bei den Hackfrüchten i. e. S. unter (1), (2) und (3), beim Raps unter (1) und (2) Gesagte.

(2) *Dauer 238–269.* Zum letzten Abschnitt dieser Periode vergleiche man die Angaben unter (4) bei den Hackfrüchten i. e. S. und unter (3) beim Raps. Im ersten Teil sind Grauton (Maximum 64 %, dunkle Positivgrautöne bei Spätkartoffeln und Runkelrüben) und Textur (Maximum 54 %, körnig) auf der Seite der Hackfrüchte i. e. S. und die Textur (Maximum 65 %, streifig) auf der Seite des Raps (= Herbstgrasig) für eine gewisse Unterscheidbarkeit verantwortlich.

Interpretationsstufe 3: Horizontale und vertikale Kombination

Wir haben gesehen, daß es nach unserer Auswertung keine Jahreszeit gibt, die für die Identifikation beider Getreidegruppen (Winter- und Sommergetreide) gleichzeitig eine Erfolgsaussicht von mehr als 50 % verheißt. Wir finden deshalb selbstverständlich auch keine Jahreszeit, die gemeinsam für alle auf Stufe 3 neu ausgeschiedenen Kulturarten am günstigsten wäre. Somit muß die horizontale Kombination getrennt entweder mit dem Winter- oder mit dem Sommergetreide allein durchgeführt werden. Da die Unterscheidung von Raps und Hackfrüchten i. e. S. fast während der ganzen Untersuchungsperiode recht gut gelingt, sind die für eine allgemeine Interpretation auf Stufe 3 geeigneten Jahreszeiten durch die Erkennbarkeit des Getreides gegeben. Für die Kombination mit Wintergetreide sind deshalb zweite

Hälfte April bis Anfang Mai (1) und Ende Mai (2) am besten.

(1) *Dauer 105–130.* Für das Wintergetreide gelten die unter Periode (1), für die Hackfrüchte i. e. S. ebenfalls die unter (1) gemachten Angaben. Der Raps zeichnet sich zu dieser Zeit innerhalb der Hackfruchtgruppe durch dunkle Grautöne (Pos.) und streifige und körnige Textur aus.

(2) *Dauer 147–149.* Der praktische Wert dieser Periode für die Interpretation ist unsicher (vgl. Wintergetreide (2), Hackfrüchte i. e. S. (2) und Raps (1)).

Bei der Kombination mit Sommergetreide zeigen Mitte Juni (1) und Anfang August (2) die besten Erfolgsaussichten.

(1) *Dauer 160–172.* Man vergleiche dazu Sommergetreide (1), Hackfrüchte i. e. S. (2) und Raps (1).

(2) *Dauer 213–218.* Diese Zeit entspricht der Periode (2) beim Sommergetreide. Die Hackfrüchte i. e. S. und der Raps lassen sich mit Hilfe des Grautons (Maximum 100 %, dunkel bei Hackfrüchten i. e. S.; Maximum 100 %, hell bei den abgeernteten und mit Nachfrucht neubestellten Rapsfeldern) und der Textur (Maximum 83 %, linig und fleckig bei den Frühkartoffeln, körnig bei den Spätkartoffeln und den Runkelrüben) separieren.

Das Fehlen einer allgemein günstigen Jahreszeit für die Interpretation auf der dritten Stufe hat denselben Einfluß auf die vertikale Kombination, die entweder auf die Winter- oder auf die Sommergetreide verzichten muß. Die Kombination mit dem Wintergetreide zeigt, daß die bisher auf Stufe 1 und 2 ermittelten Jahreszeiten zusammengefaßt (vgl. p. 48) nirgends mit den für das Wintergetreide aussichtsreichen Perioden zusammenfallen. Die für das Wintergetreide günstige Zeit hört gerade auf (130), wenn die für die Interpretation bis Stufe 2 geeignete Periode anfängt (132). Das läßt sich ohne weiteres erklären, da ja im Frühling die Separierung von Getreide und Hackfrucht auf der zweiten und diejenige von Winter- und Sommergetreide auf der dritten Stufe auf dem gleichen Prinzip beruhen. In beiden Fällen ist die eine Gruppe dadurch erkennbar, daß sie aus noch unbewachsenen und daher hellen und texturlosen Äckern¹²⁾ besteht, während die andere in der Ent-

¹²⁾ Dies trifft im Falle der Hackfrüchte wenigstens auf die flächenmäßig stark dominierenden Kartoffeln und Runkelrüben zu. Der Raps zeigt ein anderes Verhalten.

wicklung weiter fortgeschritten ist und dunkler getönte und texturierte Felder umfaßt. Wenn nun aber dieser Unterschied bei der Gegenüberstellung von Getreide und Hackfrucht am deutlichsten ausgeprägt ist, läßt sich natürlich innerhalb der Getreidegruppe mit dem gleichen Mittel keine Differenzierung mehr vornehmen.

Bei der Kombination mit dem Sommergetreide hebt sich nur die weiter oben (s. vertikale Kombination Stufe 2, p. 48) schon als problematisch bezeichnete kurze Zeit Mitte Juni (162–163) heraus.

Es zeigt sich also, daß eine allgemeine schrittweise Interpretation bis zur Stufe 3 nicht mehr auf Luftbildmaterial aus nur einer bestimmten Jahreszeit durchgeführt werden kann, wenn wir unsere Forderung der minimalen Erfolgsrate von 50% für jede Nutzungsgruppe aufrechterhalten. Als praktische Lösungen für eine derartige Interpretation zeichnen sich deshalb folgende Möglichkeiten ab:

1. Man setzt die Anforderungen herab und wählt eine Periode aus, die noch relativ die günstigsten Ergebnisse verspricht. Die Wahl dieser Jahreszeit ist dann stark vom Interpretationsziel abhängig, d. h. davon, ob man jeder Nutzungsgruppe möglichst in gleichem Maße gerecht werden will oder aber ob man eine flächenmäßig möglichst richtige Interpretation vorzieht, die zur Folge hätte, daß die quantitativ vorherrschenden Kulturarten bei der Beurteilung der geeignetsten Jahreszeiten den Vorrang erhalten¹³⁾.

2. Die Interpretation wird auf zwei oder mehr jahreszeitlich verschiedenen Photoserien vorgenommen. Man wählt erst jene Serie aus, die eine Separierung der Kulturen bis zur Stufe 2 gestattet. Die Ergebnisse können dann auf eine oder mehrere weitere Serien übertragen werden, auf denen man anschließend die Differenzierungen der Stufe 3, die bis dahin noch nicht vorgenommen werden konnten, ausführt. Auch hier wird die Wahl der Jahreszeit durch den die Interpretation leitenden Gesichtspunkt (s. o.) mitbestimmt.

Interpretationsstufe 4: Differenzierung der Wintergetreide

Es bleiben nun noch die Interpretationsmöglich-

keiten innerhalb der noch nicht aufgeteilten Nutzungsgruppen Wintergetreide, Sommergetreide und Hackfrüchte i. e. S. zu besprechen.

Winterweizen. Nach Abb. 32 heben sich zwei kurze Zeiten mit über 50% Erfolg heraus: Ende Mai (147–152) und Ende Juli (206–213). Die erste Spitze kommt dadurch zustande, daß sich der Winterweizen innerhalb der Wintergetreidegruppe noch zu einem großen Teil durch das Fehlen eines Stereoeffektes auszeichnet. Das zweite Maximum beruht ebenfalls auf dem Stereoeffekt. Nach der Roggenernte (206) ist der Winterweizen die letzte noch übriggebliebene Winterfrucht und kann gegenüber den Stoppelfeldern erkannt werden. Die theoretische Unterscheidbarkeit ergibt sich hier allerdings wieder aus der Annahme eines konzentrierten Erntevorgangs. Die zweite Periode ist deshalb für die praktische Interpretation weitgehend unbrauchbar.

Wintergerste. Die Zeit zwischen den Tagen 195 und 206 (Mitte Juli) ist als günstig ausgegeben. Die relativ hohe Erfolgsrate kommt jedoch durch die Erntetexturen und das Fehlen des Stereoeffektes auf den Wintergerste-Stoppelfeldern (Wintergersternte am Tag 195) zustande und wird deshalb in Wirklichkeit durch die Streuung der Erntedaten wieder verschlechtert. Immerhin darf mit einiger Sicherheit vermutet werden, daß es sich bei den zuerst geschnittenen Getreidefeldern um Wintergerste handelt.

Winterroggen. Der Roggen erreicht nirgends die 50%-Limite.

Interpretationsstufe 4: Differenzierung der Sommergetreide

Sommerweizen. Der Sommerweizen bleibt immer unter der Grenze von 50%.

Sommergerste. Für die Sommergerste ergibt die Auswertung eine längere günstige Periode, die von der ersten Hälfte Juli bis Anfang August (189–219) dauert. Im ersten Teil dieses Zeitraumes (bis gegen Ende Juli) hebt sich die Sommergerste gegenüber den anderen Sommergetreidearten durch die weiter vorgeschrittene Reife und dadurch durch einen helleren Grauton (Pos.) heraus. Im kurzen Zeitabschnitt zwischen der Ernte der Sommergerste (216) und der des Sommerweizens (219) sind ferner die Sommergerste-Stoppelfelder theoretisch durch das Fehlen des Stereoeffektes und die typischen Texturen erkennbar. Aus dem schon öfters genannten Grunde ist diese Zeit praktisch aber bedeutungslos.

¹³⁾ Für unsern Fall des schweizerischen Mittellandes würde das bedeuten, daß wir uns auf der ersten Stufe mehr nach den Wiesen (Flächenanteil 71%) als nach dem offenen Ackerland (29%), auf der zweiten mehr nach den Naturwiesen (74%) als nach den Kunstwiesen (26%) und mehr nach den Getreiden (70%) als nach den Hackfrüchten i. w. S. (30%) und auf der dritten mehr nach dem Wintergetreide (77%) als nach dem Sommergetreide (23%) und mehr nach den Hackfrüchten i. e. S. (95%) als nach dem Raps (5%) richten.

Hafer. Für den Hafer sind in Abb. 32 zwei günstige Abschnitte eingetragen: Ende Juli (207–214) und Mitte August (219–229). Die zweite Periode hat für die Praxis wiederum keine große Bedeutung, da sie auf der Unterscheidbarkeit des noch stehenden Hafers gegenüber den Sommerweizen- und Sommergerste-Stoppelfeldern beruht. Allerdings kann auch hier mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß die zuletzt noch ungeerntet gebliebenen Getreidefelder Haferäcker sind. Die erste Periode kommt durch den zu dieser Zeit noch recht dunklen Grauton (Pos.) des Hafers zustande, der sich von den helleren Tönen der schon mehr oder weniger gereiften übrigen Sommergetreidearten unterscheidet, und verspricht deshalb bessere Aussichten auf einen tatsächlichen Erfolg¹⁴).

Interpretationsstufe 4: Differenzierung der Hackfrüchte i. e. S.

Kartoffeln. Zwei Jahreszeiten sind günstig: Mitte Juni bis Anfang Juli (160–186) und die erste Hälfte August bis Ende September (220–269). In der ersten Hälfte der ersten Periode fallen die Kartoffelfelder durch ihre Furchentextur auf. In der zweiten Hälfte ist vor allem der Grauton maßgebend: Die Kartoffeläcker sind zu diesem Zeitpunkt dunkler (Pos.) als die noch etwas weniger stark entwickelten Runkelrübenäcker. Dieses Resultat ist allerdings mit einiger Vorsicht zu betrachten, da wir für die Runkelrüben zu wenig auswertbares Photomaterial hatten, so daß der Verlauf der Schwärzungskurve zwischen zwei ziemlich weit auseinanderliegenden Daten interpoliert werden mußte. Bei der zweiten Periode beruht die Identifizierbarkeit anfänglich auf Ton und Textur der Frühkartoffeln, die vor der Ernte (232) ihr Laub verlieren und deshalb dem Photoaspekt einen hellen Ton und die typischen Musterrungen des Vorerntezustandes (fleckig, linig) verleihen. Daneben unterscheiden sich aber auch die Spätkartoffeln zum Teil durch den Grauton von den Runkelrüben, indem sie im Mittel dunkler (Pos.) sind. Auch dieses Ergebnis ist aber mit etwelcher Vorsicht aufzufassen, da hier im Falle der Kartoffeln zu wenig Photomaterial zur Verfügung stand. Nach der Ernte sind die ehemaligen Frühkartoffeläcker, die nun zur Kategorie der unbewachsenen Äcker gezählt werden, infolge ihres hellen Tons (Pos.) zu 100 % von den Runkelrüben unterscheidbar. Gegen das Ende der zweiten gün-

stigen Jahreszeit machen sich dann dieselben Merkmale wie vorher bei den Früh- nun bei den Spätkartoffeln bemerkbar: Zunehmend heller Ton (Pos.), typische Texturen des Reifestadiums (vgl. Bild 9).

Runkelrüben. Ähnlich wie bei den Kartoffeln ergeben sich auch für die Runkelrüben zwei geeignete Zeiten, die allerdings kürzer erscheinen: Ende Juni (174–183) und zweite Hälfte September (261 bis 269). In der ersten Periode ist ausschließlich der Grauton für die hohe Erfolgsrate verantwortlich: Die Runkelrüben sind heller (Pos.) als die Kartoffeln. Aus dem oben bei den Kartoffeln genannten Grunde muß aber diese Differenz als unsicher betrachtet werden. Dagegen können die günstigen Erfolgsaussichten im zweiten Zeitabschnitt als gesichert gelten, da sich dann die Runkelrübenfelder gegenüber den reifenden Kartoffeln durch den dunkleren Ton (Pos.) und das Beibehalten der körnigen Textur auszeichnen (vgl. Bild 9).

Interpretationsstufe 4: Horizontale und vertikale Kombination

Die Auswertung für die vierte Stufe zeigt, daß es keine Jahreszeit gibt, in der die Identifikation der bisher noch nicht unterschiedenen Kulturen auch nur zum kleineren Teil gleichzeitig gelingen würde. Für einige dieser Kulturen gibt es nach unserer Definition überhaupt keine günstige Periode (Winterroggen, Sommerweizen). Die für die übrigen Nutzungsarten ermittelten Zeiten zeigen eine unregelmäßige Verteilung. Eine gewisse Aussicht auf eine zeitlich beschränkte Erkennbarkeit ergab sich bei Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Hafer, Kartoffeln und Runkelrüben. Eine kurze Gemeinsamkeit in bezug auf die günstige Jahreszeit weisen nur Hafer und Sommergerste einerseits und Runkelrüben andererseits auf¹⁵).

Auch der Vergleich mit den bei der bisherigen vertikalen Kombination von Stufe 1 bis 3 ermittelten Jahreszeiten ergibt, daß praktisch keine Gemeinsamkeit mit den Perioden auf Stufe 4 vorkommt. Wenn die Interpretation in den bis Stufe 2 oder 3 als günstig bestimmten Zeiten vorgenommen wird, kann deshalb keine zusätzliche Information auf Stufe 4 erwartet werden. Es folgt daraus, daß eine allgemeine Interpretation bis Stufe 4 nur auf der Basis von Photomaterial, das an rund acht verschiedenen Daten innerhalb der Vegetationsperiode

¹⁴) Auch bei Brunnschweiler 1957 wird dem dunklen Grauton des Hafers Indikationswert zugeschrieben, allerdings zu einem früheren Zeitpunkt (früher Juni).

¹⁵) Abgesehen von den Koinzidenzen Wintergerste/Sommergerste und Hafer/Kartoffeln, die eher unsicher sind, da die in diesem Fall für Wintergerste und Hafer angegebenen günstigen Zeiten problematischen Charakter haben.

aufgenommen worden wäre, einigermaßen durchgeführt werden könnte. Der damit erzielte Gewinn an Information würde jedoch die Unwirtschaftlichkeit dieses Vorgehens in keiner Weise wettmachen. Es scheint, daß eine Interpretation bis Stufe 4 nur einen Sinn hat, wenn sie partieller Art ist, d. h. wenn man von Anfang an nur eine bestimmte Kulturart im Auge hat.

Bemerkungen zur direkten Interpretation

Zum Schluß seien noch einige Hinweise auf die Möglichkeiten der direkten Interpretation gegeben, die mit unserem Verfahren nicht statistisch erfaßt werden konnten. Unter der direkten Interpretation verstehen wir einen Arbeitsvorgang, der unter Umgehung der schrittweisen Methode direkt die Identifikation einer bestimmten Kulturart auf einer höheren Stufe anstrebt. Über das offene Ackerland und die Wiesen brauchen wir dabei nicht zu sprechen, da diese auf Stufe 1 vorgenommene Separierung auf alle Fälle direkter Art ist. Dagegen sollen die Aussichten für die von Stufe 2 an ausgeschiedenen Nutzungstypen der Reihe nach kurz beleuchtet werden. Dies geschieht anhand der bisher als günstig bezeichneten Jahreszeiten, indem wir der Meinung sind, daß für das Erkennen einer bestimmten Kulturart auf alle Fälle nur eine Periode in Frage kommen kann, in der sie sich möglichst stark von den nächstverwandten Typen unterscheidet.

Getreide. Der Grauton ist das typische Merkmal der Periode (1). Im Gesamtverband fällt jedoch die Variationsbreite des Getreidetons zum Teil mit der der Wiesen zusammen. Es muß die Textur zur Hilfe herangezogen werden, die aber nicht so großen Erfolg verspricht. Geeigneter ist die Periode (2), in der eine direkte Interpretation mit Textur und Stereoeffekt gut durchgeführt werden kann.

Hackfrüchte i. w. S. In Periode (1) ist die direkte Interpretation mit Hilfe des Grautons möglich, da die Hackfrüchte zu dieser Zeit am hellsten sind. In Periode (2) gelingt die Identifikation mit der Textur, dagegen nicht mit dem Stereoeffekt, dessen weitgehendes Fehlen bei den Hackfrüchten i. e. S. und bei den Rapsstoppelfeldern (nach 193) nicht typisch ist. In Periode (3) bietet wiederum die Textur gute Aussichten.

Naturwiesen. Der in Periode (1) als typisch ausgewiesene Grauton ist nicht unbedingt brauchbar in der direkten Interpretation, da er sich zum Teil mit dem der Ackerfrüchte überschneidet. Bessere Ergebnisse lassen sich mit der Textur erzielen, wobei allerdings der Unterschied zu den Kunstwiesen

vor deren Schnitt (137) nur ein gradueller ist (in beiden Wiesentypen wolkige Textur). Auch in Periode (4) ist der Grauton für die Naturwiesen im Gesamtverband nicht eindeutig, da Stoppelfelder und unbewachsene Äcker zum Teil Töne gleicher Größenordnung aufweisen. Ebenso fällt er in der Periode (5) mit demjenigen der Runkelrüben und der Nachfruchtsaaten weitgehend zusammen. Dagegen lassen sich im gesamten gesehen die Erfolgsaussichten sicher wesentlich steigern, wenn weitere Indikatoren (vor allem Lage der Parzellen) untersucht werden.

Kunstwiesen. In bezug auf die Textur der Periode (1) gilt dasselbe, was wir oben bei den Naturwiesen gesagt haben, nur natürlich in umgekehrtem Sinne. Zusätzlich ist nun aber auch der Grauton besser für eine direkte Interpretation geeignet, da die Kunstwiesen vor dem ersten Schnitt (137) den dunkelsten Nutzungstyp zu dieser Zeit darstellen. Ebenfalls günstig erscheinen die Aussichten des Grautons in Periode (4), da auch dort die Kunstwiesen im Mittel am dunkelsten sind. Dagegen ist Periode (5) unsicher (s. o.).

Wintergetreide. Der Grauton ist in Periode (1) kaum von dem der Wiesen unterscheidbar. Auch mit der Textur läßt sich zur selben Zeit nur ein geringer Erfolg erzielen. Günstiger ist die Periode (2), in der das Auftreten des Stereoeffektes typisch ist. Allerdings ist sie wegen ihrer Kürze problematisch.

Sommergetreide. Die für die Sommergetreide als günstig ausgewiesene Periode (1) ist für die direkte Interpretation kaum brauchbar, da das Fehlen des Stereoeffektes auch in anderen Nutzungstypen (Wiesen, Hackfrüchte i. e. S.) vorkommt. Zusammen mit der Textur kann immerhin ein gewisser Erfolg erwartet werden. Besser sind aber die Aussichten in Periode (2) nach der Ernte der Wintergetreidefelder, indem dann auf Grund der Textur eine Identifikation möglich ist.

Hackfrüchte i. e. S. In Periode (1) ist der helle Grauton für die Hackfrüchte i. e. S. sehr typisch und die Aussicht für die direkte Interpretation daher gut. In Periode (2) läßt sich mit dem Stereoeffekt nicht viel anfangen. Geeignet dagegen sind Grauton (wenigstens eine Zeitlang) und vor allem Textur. Auch in den Perioden (3) und (4) kann man sich auf die Textur stützen.

Raps. In Periode (1) kann die Identifikation sehr einfach mit Hilfe des Stereoeffektes geschehen, da der Raps zu dieser Zeit die einzige Kultur ist, deren

Wuchshöhe über der Stereoschwelle liegt. Dagegen sind die Aussichten in Periode (2) äußerst gering, da die Erfolgsrate auf dem Stoppelfeldaspekt beruht, der jedoch zu dieser Zeit nicht nur ausschließlich beim Raps vorkommt.

Winterweizen. Der Winterweizen kann in beiden angegebenen Perioden im Gesamtverband nicht direkt erkannt werden, da die Unterscheidbarkeit innerhalb der Wintergetreidegruppe auf dem Fehlen des Stereoeffektes basiert, das aber in größerem Rahmen nicht typisch ist.

Wintergerste. Die als günstig angegebene Periode beruht auf dem Stoppelfeldaspekt, der jedoch mit den abgeernteten Rapsfeldern verwechselt werden kann.

Winterroggen. Für den Roggen konnten wir keine günstige Jahreszeit eruieren, womit auch die direkte Interpretation unmöglich ist.

Sommerweizen. Hier gilt dasselbe wie beim Winterroggen.

Sommergerste. Der helle Ton der Sommergerste während der als günstig bezeichneten Zeit, der innerhalb der Gruppe der Sommergetreide noch typisch ist, ist dies verglichen mit dem Wintergetreide nicht mehr, da dessen Reife ebensoweit oder weiter gediehen ist.

Hafer. Der dunkle Grauton in der ersten für den Hafer angegebenen Periode ist typisch innerhalb der Getreidegruppe. Sonst aber haben auch die Kunstwiesen und zum Teil die Hackfrüchte i. e. S. ähnliche Töne zu dieser Zeit. Zusammen mit der Textur dürfte aber doch eine gewisse Identifikationsmöglichkeit bestehen.

Kartoffeln. Relativ leicht gelingt das Erkennen der Kartoffeläcker in der ersten Periode, da sie sich durch die typische Furchentextur auszeichnen. In der zweiten Periode muß eine gewisse Erfolgsaussicht zur Reifezeit der Früh- und auch der Spätkartoffeln vermutet werden, da dann unverkennbare Texturen auftreten.

Runkelrüben. Die erste Periode ist sehr unsicher (s. o.). Dagegen ist der Aspekt während der zweiten recht eindeutig, da zu dieser Zeit die Runkelrüben durch ihre körnige Textur auffallen.

7.4 Folgerungen und offene Fragen

Die vorliegende Arbeit zeigt, welche Jahreszeiten mit Vorteil gewählt werden, wenn Luftaufnahmen

zum Zwecke der Landnutzungsinterpretation gemacht werden sollen, oder umgekehrt, welche Information auf bereits gegebenen Bildern erwartet werden kann. Wir haben gesehen, daß es praktisch nur eine Jahreszeit (Mitte Mai) gibt, in der im schweizerischen Mittelland eine allgemeine Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern durchgeführt werden kann. Aber auch in dieser besten Zeit ist sie nur bis Stufe 2 möglich, erlaubt also lediglich eine Differenzierung in Getreide, Hackfrüchte, Naturwiesen und Kunstwiesen. Weitere Unterscheidungen sind nur möglich, wenn zusätzliches Photomaterial aus anderen Zeiten desselben Jahres zur Verfügung steht. Im praktischen Fall muß sich der Benützer von Luftbildern, die ja vorwiegend oder ausschließlich für die photogrammetrische Auswertung aufgenommen werden, normalerweise mit einer Serie zufriedengeben, ja er wird es als Glücksfall bezeichnen müssen, wenn diese Serie zufällig gerade aus der günstigsten Jahreszeit stammt. Auch wenn die Möglichkeit der speziellen Befliegung für die Zwecke der Landnutzungsinterpretation bestehen sollte, könnten aus Gründen der Wirtschaftlichkeit doch kaum mehrere Bildflüge durchgeführt werden¹⁶⁾.

Der Landnutzungsinterpretation ist damit auch eine praktische Grenze gesetzt. Dieses Resultat ist aber insofern nicht tragisch zu nehmen, als in unseren Breiten doch in allen jenen Fällen, in denen Details verlangt werden, so große Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden, daß die Luftbildauswertung als Arbeitsmethode ohnehin nicht in Frage kommt¹⁷⁾.

Auf der anderen Seite darf auch nicht vergessen werden, daß sich gegenüber den hier ermittelten Resultaten unter Umständen noch wesentlich größere Erfolgchancen herausarbeiten lassen, wenn eine geeignete Verschlüsselungstechnik gewählt wird. Es sind dabei in erster Linie die folgenden Punkte wichtig:

1. Ein Schlüssel muß regional beschränkt sein, und zwar soll die damit erfaßte Region so klein sein, daß in ihr keine wesentlichen Änderungen in der Art der Bodennutzung auftreten. Die Beschränkung auf enger umgrenzte Regionen ergibt dann die Möglichkeit der Vereinfachung, indem eventuell zum vorneherein eine Anzahl von Kulturarten aus der Betrachtung ausgeschieden werden

¹⁶⁾ Möglicherweise ließe sich auch eine Verbesserung mit der Vergrößerung des Maßstabes erzielen, der aber wieder der Faktor Wirtschaftlichkeit eine Grenze setzt.

¹⁷⁾ So werden z. B. auf dem Gebiet der Forstwirtschaft die in Amerika und Skandinavien entwickelten Methoden der Vorratsbestimmung von Luftbildern bei uns nicht angewendet.

kann, da sie in der untersuchten Gegend nicht oder nur in vernachlässigbarer Quantität vorkommen.

2. Die Art der Verschlüsselung kann entscheidend sein. Am besten wäre meines Erachtens eine Zusammenfassung der zu verschlüsselnden Merkmale in einer Kombinationstabelle. Diese würde Auskunft über alle zwischen Grauton¹⁸⁾, Textur und Stereoeffekt möglichen Kombinationen geben und somit sofort in anschaulicher Weise zeigen, welche Merkmalskombinationen nur von einem Nutzungstyp belegt werden und deshalb indikativen Wert haben und welche von mehreren Kulturarten in Anspruch genommen werden. Mit der Beschränkung auf die eindeutigen Fälle ließe sich die Interpretation theoretisch fehlerlos durchführen, wobei allerdings auch der prozentuale Erfolg relativ gering wäre, da noch eine größere Zahl von uneindeutigen Kombinationen verbleiben würde. Nun kann aber der Erfolgsprozentsatz gesteigert werden, wenn man nach einem bestimmten System auch die nichteindeutigen Fälle für die Auswertung zuzieht. So kann man z. B. nach dem Prinzip der größeren Wahrscheinlichkeit verfahren, bei dem alle Felder mit einer uneindeutigen Merkmalskombination jener Nutzungsart zugeschlagen werden, die nach der Statistik mit dem größeren Flächenanteil ausgewiesen ist. Damit läßt sich der

Prozentsatz der richtig interpretierten Fläche stark steigern. Gleichzeitig wächst aber natürlich auch der Fehlerprozentsatz. Andererseits wird man versuchen, die Zahl der eindeutigen Fälle durch die Verwendung von weiteren, hier nicht behandelten Indikatoren zu erhöhen.

Nicht gelöst ist damit die Frage, welcher Art die einzelnen Indikatorschlüssel, mit denen zuerst die Merkmale der zu interpretierenden Felder ermittelt werden, sein sollen, so daß der Einfluß der Subjektivität möglichst gering bleibt.

Die Resultate dieser Arbeit und die oben gemachten Bemerkungen haben selbstverständlich alle theoretischen Charakter. Was sich effektiv aus dem Luftbild herausholen läßt, können nur praktische Versuche mit nachheriger Verifikation der Resultate im Felde zeigen.

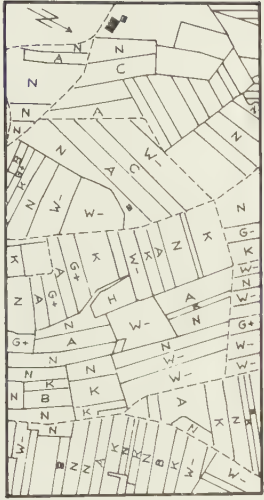
Möglichkeiten der Erleichterung oder Verbesserung der Landnutzungsinterpretation ergeben sich unter Umständen durch die Verwendung von anderem Filmmaterial (Infrarot- und Farbfilm). Es scheint, daß beide Arten, zum mindesten aber die Farbaufnahme, mehr Information liefern als das konventionelle panchromatische Material (vgl. Colwell 1960, Maruyasu und Nishio 1960, Steinmetz 1957). Vorerst ist aber darüber nur sehr wenig bekannt, und es wartet hier noch ein sehr weites Feld auf eine Bearbeitung.

¹⁸⁾ Zu diesem Zweck müßte der Grauton in Stufen aufgeteilt werden.

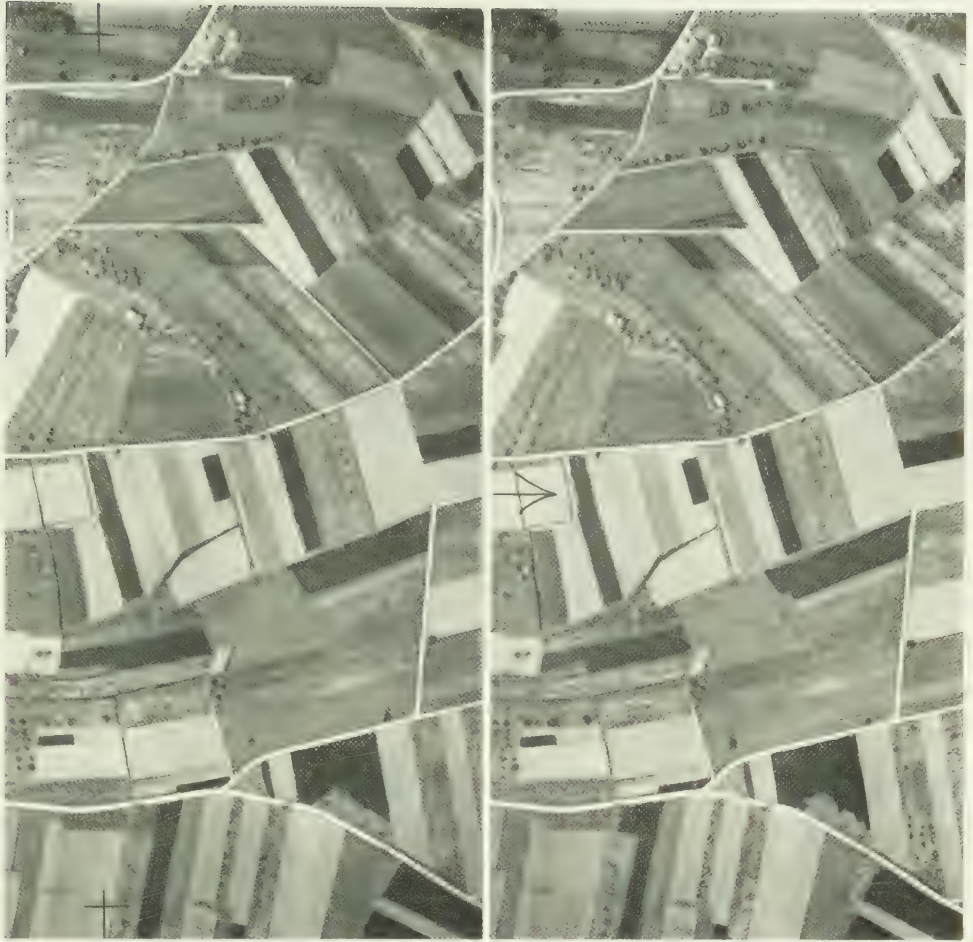
Legende für die den Bildern beigegebenen Erläuterungsskizzen

Den Stereogrammen sind verkleinerte Kartierungsskizzen beigegeben, in denen die Nutzungsart eines Teils der größeren Parzellen angegeben ist. Es folgt hier zunächst die allgemeine Legende zu diesen Skizzen.

— — —	Straßen und Wege
	Parzellengrenzen
	Wald
■	Gebäude
A	Kunstwiese
B	Runkelrüben
C	Raps
D	Nachfrucht
E	Brache
G	Gerste
H	Hafer
K	Kartoffeln
N	Naturwiese
R	Roggen
S	Stoppelfeld
W	Weizen
—	Winterfrucht
	Sommerfrucht



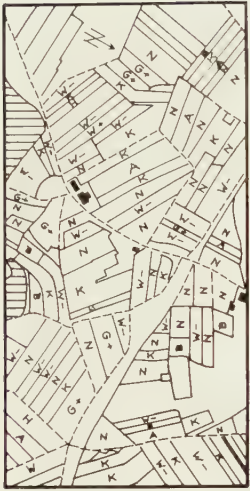
Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 1



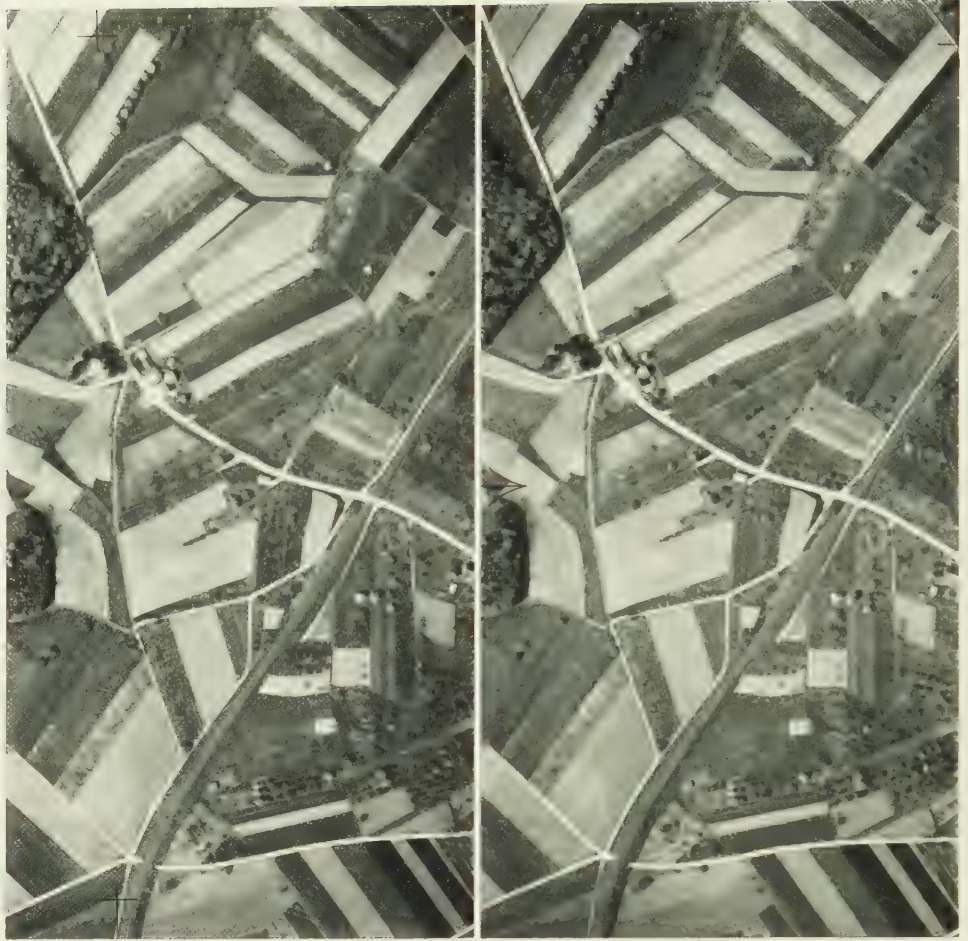
Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 9. Mai 1958 (129)
Korrigiertes Datum: 8. Mai (128)
Ungefäher Maßstab: 1: 8000

1. Stereogramm aus der Gegend von Guntalingen (ZH)

Diese Aufnahmen können als Beispiel für die Jahreszeit gelten, die sich am besten für eine allgemeine Interpretation bis Stufe 2 (Unterscheidung von Getreide, Hackfrucht, Natur- und Kunstwiesen) eignet. Allerdings fällt das maßgebende Datum der Aufnahme noch nicht ganz in die in Abb. 31 als günstig eingezeichnete Periode (132–143). Das hat zur Folge, daß die Sommergetreidefelder aspektmäßig eher noch den Hackfrucht- als den Wintergetreideäckern gleichen. Deshalb ist diese Zeit vorläufig noch besser für die Unterscheidung von Winter- und Sommergetreide (unter der Voraussetzung, daß sich die Hackfruchtäcker irgendwie identifizieren lassen) als für diejenige von Getreide und Hackfrüchten geeignet. Immerhin zeigt das Sommergetreide zum Teil schon Ansätze zu einer Saatreihentextur. Die Wintergetreidefelder zeichnen sich durch einen bereits dunkleren Grauton und durch eine mehr oder weniger deutliche streifige Textur aus und sind im allgemeinen gut erkennbar. Die Hackfrüchte i. e. S. (Kartoffeln, Runkelrüben) fallen als hell getönte Flächen auf, die noch keine Spur eines Bewuchses zeigen und deshalb texturlos sind (mit Ausnahme von wolkigen Musterungen mit großflächigen Komponenten, die auf Unterschiede in der Bodenfeuchtigkeit zurückzuführen sind). Die Naturwiesen können leicht durch ihre wolkige bis flockige Textur erkannt werden, die durch massenhaft auftretende hell blühende Pflanzen entsteht und den mittleren Grauton unter Umständen beträchtlich aufhellt. Die Kunstwiesen sind zwar teilweise ebenfalls mit der gleichen Textur versehen. Diese ist aber doch viel weniger intensiv ausgeprägt, wodurch der Grauton im Mittel dunkler und bedeutend gleichmäßiger über eine Parzelle verteilt ist.



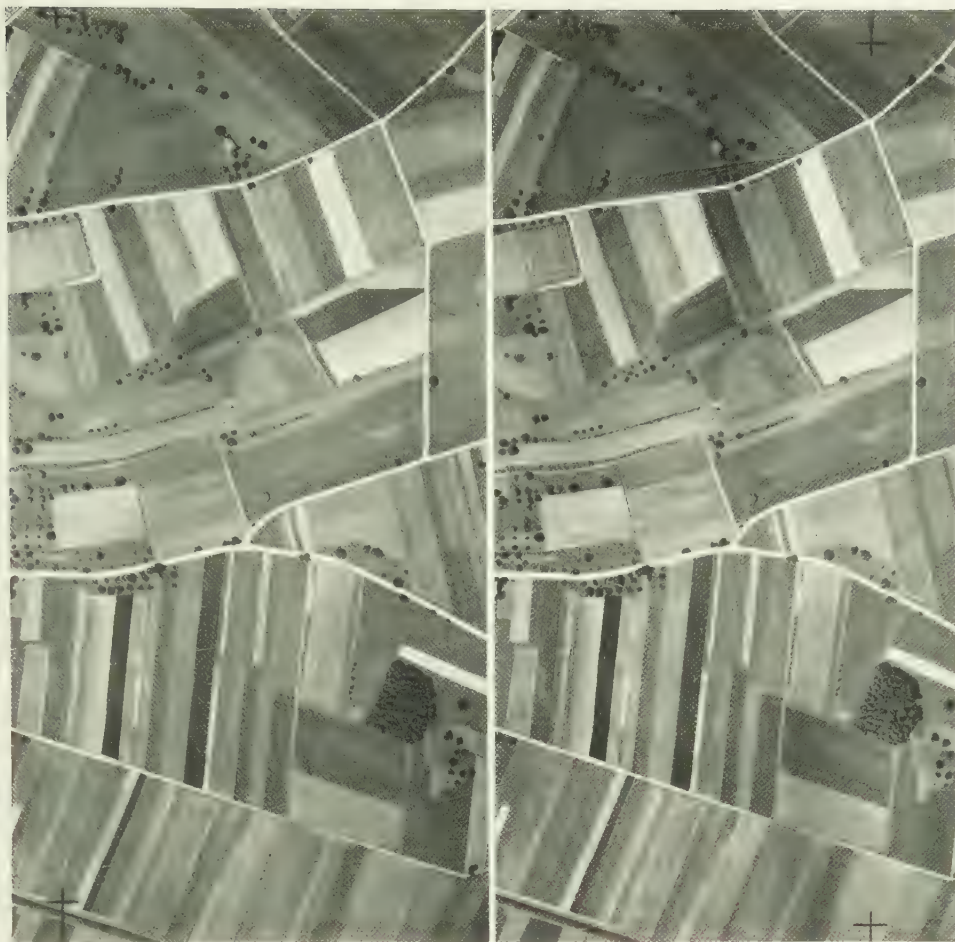
Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 2



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 9. Mai 1958 (129)
Korrigiertes Datum: 8. Mai (128)
Ungefäher Maßstab: 1:8000

2. Stereogramm aus der Gegend von Waltalingen (ZH)

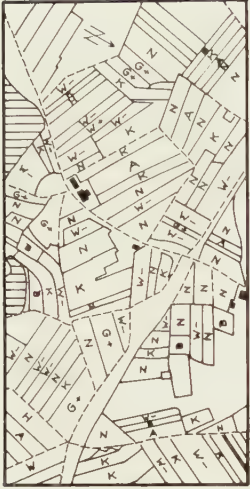
Diese Aufnahmen können als Beispiel für die Jahreszeit gelten, die sich am besten für eine allgemeine Interpretation bis Stufe 2 (Unterscheidung von Getreide, Hackfrucht, Natur- und Kunstwiesen) eignet. Allerdings fällt das maßgebende Datum der Aufnahme noch nicht ganz in die in Abb. 31 als günstig eingezeichnete Periode (132–143). Das hat zur Folge, daß die Sommergetreidefelder aspektmäßig eher noch den Hackfrucht- als den Wintergetreideäckern gleichen. Deshalb ist diese Zeit vorläufig noch besser für die Unterscheidung von Winter- und Sommergetreide (unter der Voraussetzung, daß sich die Hackfruchtäcker irgendwie identifizieren lassen) als für diejenige von Getreide und Hackfrüchten geeignet. Immerhin zeigt das Sommergetreide zum Teil schon Ansätze zu einer Saatreihentextur. Die Wintergetreidefelder zeichnen sich durch einen bereits dunkleren Grauton und durch eine mehr oder weniger deutliche streifige Textur aus und sind im allgemeinen gut erkennbar. Die Hackfrüchte i. e. S. (Kartoffeln, Runkelrüben) fallen als hell getönte Flächen auf, die noch keine Spur eines Bewuchses zeigen und deshalb texturlos sind (mit Ausnahme von wolkigen Musterungen mit großflächigen Komponenten, die auf Unterschiede in der Bodenfeuchtigkeit zurückzuführen sind). Die Naturwiesen können leicht durch ihre wolkige bis flockige Textur erkannt werden, die durch massenhaft auftretende hell blühende Pflanzen entsteht und den mittleren Grauton unter Umständen beträchtlich aufhellt. Die Kunstwiesen sind zwar teilweise ebenfalls mit der gleichen Textur versehen. Diese ist aber doch viel weniger intensiv ausgeprägt, wodurch der Grauton im Mittel dunkler und bedeutend gleichmäßiger über eine Parzelle verteilt ist.



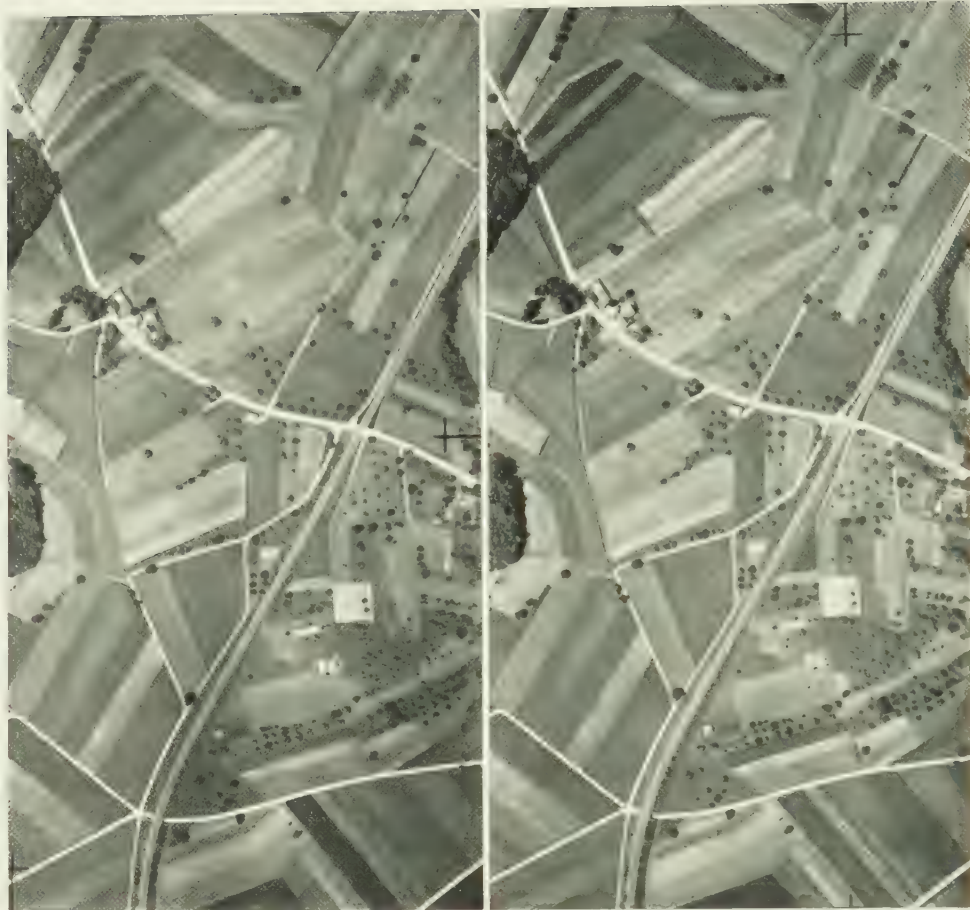
Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 17. Juni 1958 (168)
Korrigiertes Datum: 17. Juni (168)
Ungefährer Maßstab: 1:8000

3. Stereogramm aus der Gegend von Guntalingen (ZH)

Diese Zeit eignet sich für die Identifizierung der Sommergetreidefelder, die sich gegenüber den Winterkulturen durch das Fehlen des Stereoeffektes auszeichnen. Auch die Hackfrüchte sind gut auf Grund der scheckigen Textur erkennbar, die beim Wachstumsbeginn entsteht. Schwieriger gestaltet sich hier die Unterscheidung der Wiesentypen. Die Naturwiesen sind im allgemeinen bereits gemäht worden (162) und teilweise schon wieder so stark nachgewachsen, daß sie einen dunkleren Ton aufweisen. Zum Teil zeigen sie aber noch Mähstrukturen (Mähstreifen, Heizen). Diese sind aber auch bei den Kunstwiesen verbreitet, die zu diesem Zeitpunkt (172) zum zweiten Mal geschnitten werden. Da wir in beiden Fällen mit einer Streuung der Mähdaten zu rechnen haben, ist die Differenzierung praktisch schwierig durchzuführen. Es läßt sich lediglich vermuten, daß es sich bei Wiesen mit sehr deutlichen Mähstrukturen eher um Kunstwiesen handelt. Vgl. hierzu Bild 1, das dasselbe Gelände zeigt.



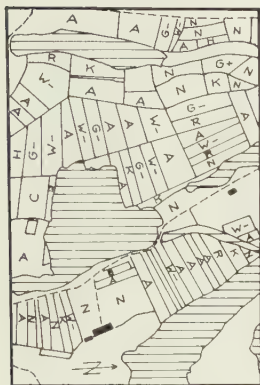
Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 4



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 17. Juni 1958 (168)
Korrigiertes Datum: 17. Juni (168)
Ungefäher Maßstab: 1: 8000

4. Stereogramm aus der Gegend von Waltalingen (ZH)

Diese Zeit eignet sich für die Identifizierung der Sommergetreidefelder, die sich gegenüber den Winterkulturen durch das Fehlen des Stereoeffektes auszeichnen. Auch die Hackfrüchte sind gut auf Grund der scheckigen Textur erkennbar, die beim Wachstumsbeginn entsteht. Schwieriger gestaltet sich hier die Unterscheidung der Wiesentypen. Die Naturwiesen sind im allgemeinen bereits gemäht worden (162) und teilweise schon wieder so stark nachgewachsen, daß sie einen dunkleren Ton aufweisen. Zum Teil zeigen sie aber noch Mähstrukturen (Mähstreifen, Heinzen). Diese sind aber auch bei den Kunstwiesen verbreitet, die zu diesem Zeitpunkt (172) zum zweiten Mal geschnitten werden. Da wir in beiden Fällen mit einer Streuung der Mähdaten zu rechnen haben, ist die Differenzierung praktisch schwierig durchzuführen. Es läßt sich lediglich vermuten, daß es sich bei Wiesen mit sehr deutlichen Mähstrukturen eher um Kunstwiesen handelt. Vgl. hierzu Bild 2, das denselben Geländeausschnitt zeigt.



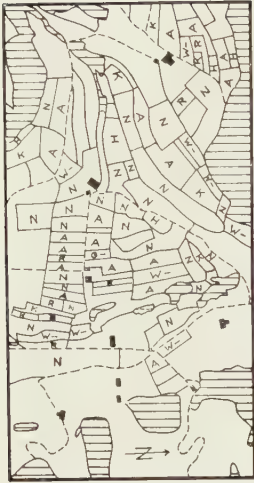
Erläuternde Skizze der
Landnutzung zum unteren
Teil von Bild 5



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 17. Juni 1958 (168)
Korrigiertes Datum: 9. Juni (160)
Ungefäher Maßstab: 1: 13 000

5. Stereogramm vom unteren Lutherntal (LU) im Frühsommer

Es gelten im Prinzip dieselben Bemerkungen wie für Bild 3 und 4, mit dem Unterschied, daß die Aussichten für die Unterscheidung von Natur- und Kunstwiesen etwas günstiger liegen, da dieser Zeitpunkt mitten in der Heuernte der Naturwiesen und noch beträchtlich vor dem mittleren Datum des zweiten Kunstwiesenschnittes liegt. Vgl. hierzu Bild 7, eine Aufnahme derselben Gegend zu einer anderen Jahreszeit.



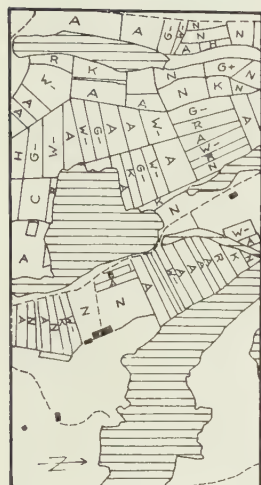
Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 6



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 17. Juni 1958 (168)
Korrigiertes Datum: 9. Juni (160)
Ungefäher Maßstab: 1: 13 000

6. Stereogramm vom mittleren Lutherntal (LU) im Frühsommer

Es gelten im Prinzip dieselben Bemerkungen wie für Bild 3 und 4, mit dem Unterschied, daß die Aussichten für die Unterscheidung von Natur- und Kunstwiesen etwas günstiger liegen, da dieser Zeitpunkt mitten in der Heuernte der Naturwiesen und noch beträchtlich vor dem mittleren Datum des zweiten Kunstwiesenschnittes liegt. Vgl. hierzu Bild 8, eine Aufnahme derselben Gegend zu einer anderen Jahreszeit.



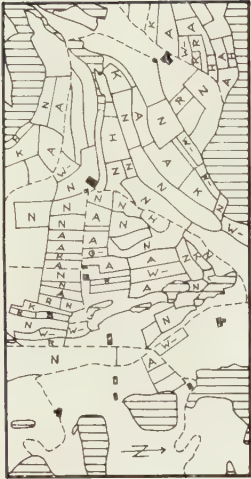
Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 7



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 9. August 1958 (221)
Korrigiertes Datum: 30. Juli (211)
Ungefäher Maßstab: 1:12 000

7. Stereogramm vom unteren Lutherntal (LU) im Hochsommer

Diese Jahreszeit erlaubt eine recht gute Unterscheidung von Getreide und Hackfrucht. Die Getreidefelder erscheinen zum Teil in ihrem typischen Vorerntezustand mit hellen und scharf begrenzten Windwurfstellen und deutlichem Stereoeffekt, zum Teil sind sie bereits geerntet und weisen Erntetexturen (Mähstreifen, Puppen) auf. Die Hackfrüchte zeichnen sich durch eine regelmäßig verteilte Tönung und durch ein körniges Muster aus. Außerdem ist der Stereoeffekt seltener. Einzig der Raps, der ebenfalls geerntet worden ist, gibt Anlaß zur Verwechslung. Weitgehend unmöglich dagegen ist eine Differenzierung der Natur- und Kunstwiesen, obschon Abb. 31 eine günstige Periode angibt. Diese beruht auf der Annahme konzentrierter Mähdaten (KW 207, NW 212), die sich in Wirklichkeit natürlich stark überschneiden. Für eine allgemeine Einteilung der Nutzfläche in offenes Ackerland und Wiesen ist diese Zeit auch nicht ausgesprochen günstig. Das Ackerland läßt sich zwar ohne Schwierigkeiten identifizieren. Dagegen sind die Wiesen nur zum kleineren Teil durch typische Merkmale (Mähstrukturen vor allem) ausgezeichnet. Immerhin ist zu vermuten, daß in der Praxis doch ein großer Teil wenigstens der Naturwiesen mit Hilfe von anderen Indikatoren (Lage) erkannt werden kann.



Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 8

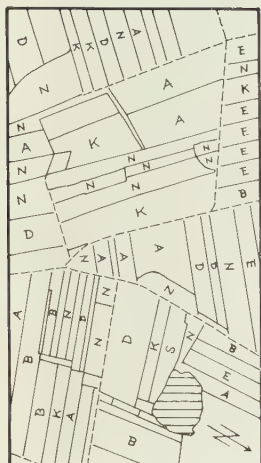


Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 9. August 1958 (221)
Korrigiertes Datum: 30. Juli (211)
Ungefäher Maßstab: 1: 12 000

8. Stereogramm vom mittleren Lutherntal (LU) im Hochsommer

Diese Jahreszeit erlaubt eine recht gute Unterscheidung von Getreide und Hackfrucht. Die Getreidefelder erscheinen zum Teil in ihrem typischen Vorerntezustand mit hellen und scharf begrenzten Windwurfstellen und deutlichem Stereoeffekt, zum Teil sind sie bereits geerntet und weisen Erntetexturen (Mähstreifen, Puppen) auf. Die Hackfrüchte zeichnen sich durch eine regelmäßig verteilte Tönung und durch ein körniges Muster aus. Außerdem ist der Stereoeffekt seltener. Einzig der Raps, der ebenfalls geerntet worden ist, gibt Anlaß zur Verwechslung. Weitgehend unmöglich dagegen ist eine Differenzierung der Natur- und Kunstwiesen, obschon Abb. 31 eine günstige Periode angibt. Diese beruht auf der Annahme konzentrierter Mähdaten (KW 207, NW 212), die sich in Wirklichkeit natürlich stark überschneiden. Für eine allgemeine Einteilung der Nutzfläche in offenes Ackerland und Wiesen ist diese Zeit auch nicht ausgesprochen günstig. Das Ackerland läßt sich zwar ohne Schwierigkeiten identifizieren. Dagegen sind die Wiesen nur zum kleineren Teil durch typische Merkmale (Mähstrukturen vor allem) ausgezeichnet. Immerhin ist zu vermuten, daß in der Praxis doch ein großer Teil wenigstens der Naturwiesen mit Hilfe von anderen Indikatoren (Lage) erkannt werden kann.

(Die weißen Flecken oben rechts im linken Bild sind auf einen Fehler im Negativ zurückzuführen.)



Erläuternde Skizze der
Landnutzung zu Bild 9



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
Aufnahmedatum: 20. September 1957 (263)
Korrigiertes Datum: 23. September (266)
Ungefäher Maßstab: 1:5000

9. Stereogramm aus dem Dorfwirtschaftsgebiet von Guntalingen (ZH)

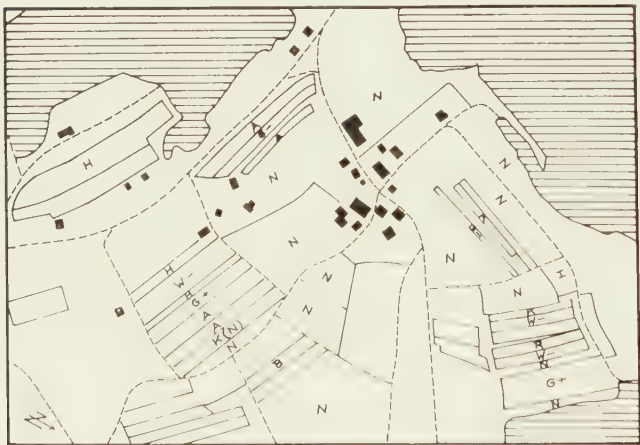
Für eine Unterscheidung von offenem Ackerland und Wiesen ist diese Jahreszeit nicht günstig. Einzelne Wiesen lassen sich zwar durch ihre Mähstrukturen erkennen. Ein guter Teil aber ist dunkel getönt und mehr oder weniger texturlos. Dadurch fallen sie in die große Merkmalsvariationsbreite des Ackerlandes, die sich von hell (umgebrochene Äcker, Stoppelfelder) bis dunkel (Nachfrucht, Runkelrüben) und von texturlos (unbewachsene Äcker) bis stark texturiert (Runkelrüben) erstreckt. Auch für eine Interpretation auf der zweiten Stufe ist diese Zeit wenig geeignet. Die Hackfrüchte i. e. S. lassen sich zwar noch gut an Hand ihrer Textur (s. u.) erkennen. Dagegen können die vorher mit Getreide bestellten Felder nicht mehr eruiert werden, da ihr Nacherntezustand sehr verschieden sein kann. Sehr gut sind dagegen die Aussichten für die Unterscheidung von Runkelrüben und Kartoffeln (wenigstens Spätkartoffeln). Die Runkelrüben sind durch körniges Aussehen und zum Teil durch Stereoeffekt charakterisiert, während die Kartoffelstauden schon weitgehend abgestorben sind (fleckige Textur) und zum Teil die Furchen (linige Textur) zum Vorschein kommen lassen, die in diesem Maßstab deutlich gesehen werden können.



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
 Aufnahmedatum: 1. Mai 1952 (121)
 Korrigiertes Datum: 6. Mai (126)
 Originalmassstab: ca. 1:12 000
 Vergrößerung auf ca. 1:6000

10. Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im Mai

Diese Aufnahme kann als weiteres Beispiel gelten für die Zeit, in der für eine allgemeine Interpretation der Landnutzung günstige Aussichten bestehen. Man vergleiche dazu die Erläuterungen zu Bild 1 und 2.



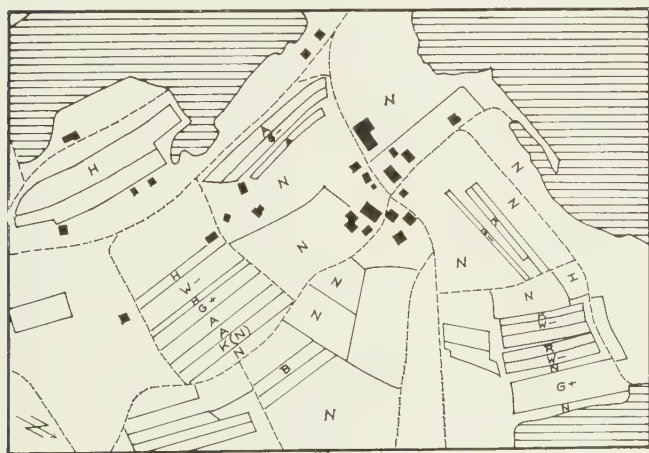
Erläuternde Skizze der Landnutzung zu Bild 10



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
 Aufnahmedatum: 5. Juni 1952 (126)
 Korrigiertes Datum: 17. Juni (168)
 Originalmaßstab: ca. 1:12 000
 Vergrößerung auf ca. 1:6000

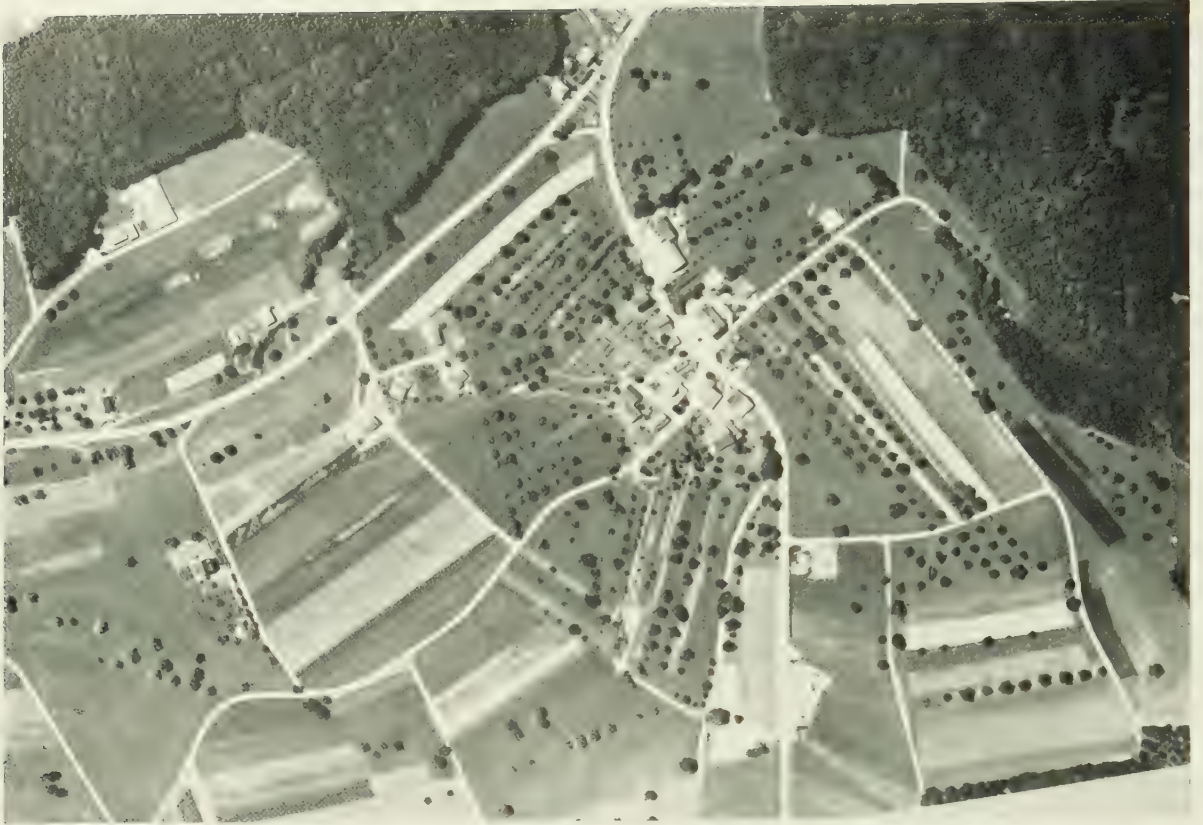
11. Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im Juni

Dieser Zeitpunkt ist für die Interpretation weniger gut geeignet. Zum Teil bestehen noch deutliche Unterschiede zwischen Getreide- und Hackfruchtfeldern in bezug auf den Grauton, jedoch ist die Überschneidung der Variationsbreiten schon beträchtlich. Die Identifikation der Hackfrüchte ist auf Grund der Textur ziemlich eindeutig möglich. Schwierig ist die Bestimmung und Klassifikation des Grünlandes. Praktisch lassen sich gewisse Erfolge erzielen, wenn man weitere Indikatoren zu Hilfe nimmt: So lassen die mit Obstbäumen bestandenen, gelegentlich beweideten Parzellen (typisches tupfiges Muster!, s. z. B. große Wiesenparzelle im Zentrum des Bildes) auf Naturwiese schließen. Dasselbe Kriterium kann auch bei der Aussonderung des Grünlandes als Ganzes herangezogen werden. Daneben bleiben aber noch die Kunstwiesenparzellen, die zur Verwechslung mit anderen Kulturen Anlaß geben. Dasselbe gilt übrigens auch für die Bilder 12 und 13.



Einzig auf Bild 10 kann die Identifizierung des Grünlandes als solches und die Einteilung desselben in Kunst- und Naturwiesen recht gut durchgeführt werden, da dort die Naturwiesen im allgemeinen durch die auffallende flockig-wolkige Textur (blühende Pflanzen) ausgezeichnet sind. Für die Unterscheidung von Sommer- und Wintergetreide sind die Aussichten schlecht. Zwar hebt sich der Hafer zum Teil (vgl. die zwei Haferfelder in der linken Bildhälfte) durch einen auffallend dunklen Grauton heraus, doch ist dieses Merkmal nicht durchgehend vorhanden.

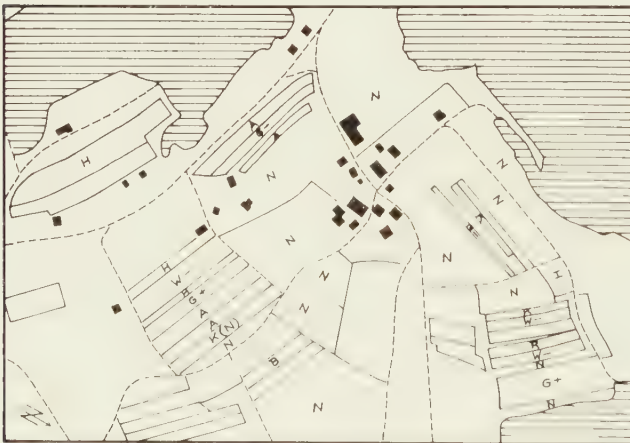
Erläuternde Skizze der Landnutzung zu Bild 11



Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
 Aufnahmedatum: 11. Juli 1952 (192)
 Korrigiertes Datum: 17. Juli (198)
 Originalmaßstab: ca. 1:12 000
 Vergrößerung auf ca. 1:6000

12. Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im Juli

Dieses Luftbild ist zu einer Zeit aufgenommen, die sich recht gut für die Unterscheidung von Getreide und Hackfrüchten eignet. Diese gelingt vor allem mit den Kriterien Stereoeffekt und Textur. Viele Getreidefelder sind eindeutig an ihrer charakteristischen fleckigen Musterung, die durch Windwurfstellen bedingt ist, erkennbar.



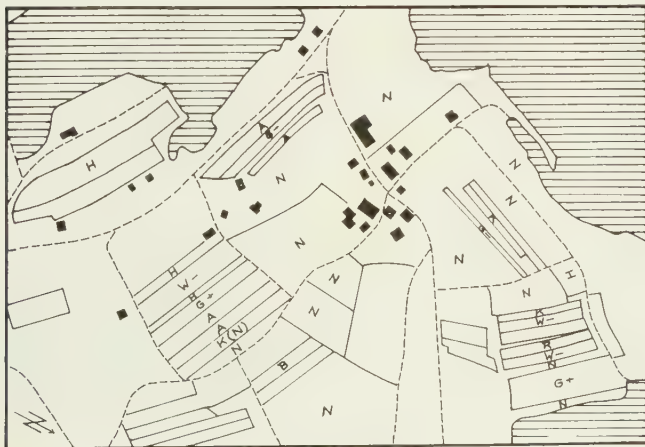
Erläuternde Skizze der Landnutzung zu Bild 12



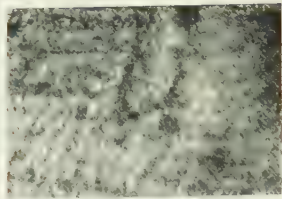
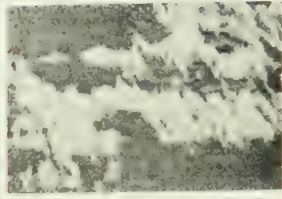
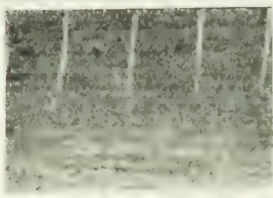
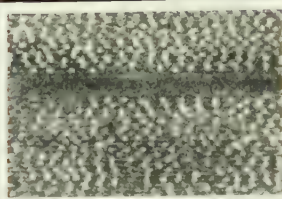
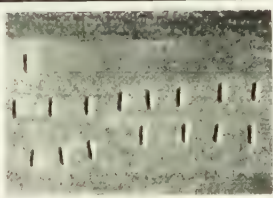
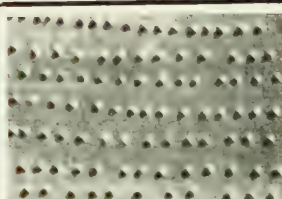
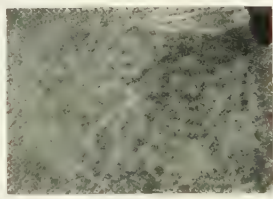
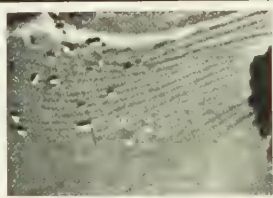
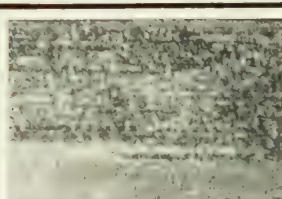
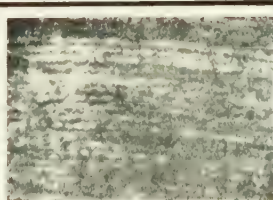
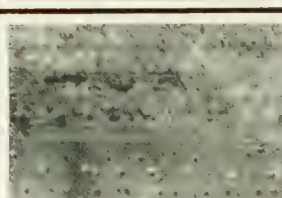
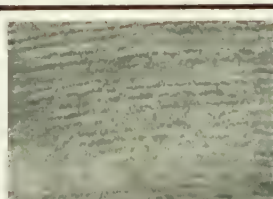
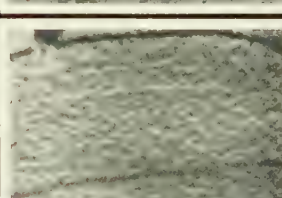
Aufnahme: Photodienst Militärflugplatz Dübendorf
 Aufnahmedatum: 6. August 1952 (218)
 Korrigiertes Datum: 10. August (222)
 Originalmaßstab: ca. 1:12 000
 Vergrößerung auf ca. 1:6000

13. Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im August

Hier kann das Ackerland mit Hilfe der Textur recht gut identifiziert werden. Auf den Getreidefeldern finden wir häufig die typischen Erntetexturen (Garben am Boden liegend, aufgestellte Puppen, s. z. B. Parzellen in der linken Bildhälfte). Zu diesem Zeitpunkt ist auch eine gewisse Unterscheidung der Winter- und Sommergetreide möglich. Die Wintergetreidefelder sind theoretisch alle abgeerntet, die Sommergetreidefelder zum Teil noch nicht. In Wirklichkeit ist aber mit einer stärkeren Überschneidung der Erntedaten zu rechnen.



Erläuternde Skizze der Landnutzung zu Bild 13

Wiesen: »wolkig« (hell blühende Pflanzen)		Getreide: »streifig, schwacher Kontrast« (Saatreihen)	
Wiesen: »streifig« (Mähstreifen)		Getreide: »fleckig, scharfe Konturen« (Lagerfrucht)	
Wiesen: helle Streifen, wo Rechenmahden gelegen haben		Getreide: »scheckig« (Garben ausgelegt)	
Wiesen: Heinzen		Getreide: »tupfig« (Puppen)	
Weide: »tupfig« (vom Vieh nicht abgefressene Pflanzen)		Kartoffeln: »linig« (Furchen)	
Weide: »streifig« (Kuhstreifen)		Hackfrüchte i. e. S.: »scheckig« (Beginn des Wachstums)	
Getreide: »streifig, starker Kontrast« (Saatreihen)		Kartoffeln: »fleckig« (+ linig) (noch nicht verwelte Pflanzen vor der Ernte)	
Getreide: »streifig, schwacher Kontrast« (Saatreihen)		Hackfrüchte i. w. S.: »körnig« (Pflanzen haben volle Wuchshöhe erreicht)	

14 Typische Texturen

Vergrößerte Ausschnitte im Maßstab von ca. 1:2000. Die Originalmaßstäbe wechseln zwischen 1:7000 und 1:13 000.
Für die Erläuterung sei auf Abschnitt 5.5, p. 32 verwiesen.

Tab. 12 Datumstabelle

Tag	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	–	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	–	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	–	90	–	151	–	212	243	–	304	–	365

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Interpretation der agrarischen Landnutzung von Luftbildern stehen uns im Prinzip zwei Methoden zur Verfügung: a) Die direkte Identifizierung mit Hilfe der Indikatoren (physiognomische Merkmale); b) die Ableitung der Art der Nutzung aus bekannten Zusammenhängen zwischen verschiedenen Landschaftselementen (Korrelation). In den intensiv kultivierten Gebieten der gemäßigten Zone sind wir oft fast ausschließlich auf die erste Methode angewiesen. Damit spielt auch die Jahreszeit eine entscheidende Rolle, da sich mit ihr der Aspekt der Kulturen ändert. Es war deshalb das Ziel dieser Arbeit, an einem Beispiel Mitteleuropas (Schweizer Mittelland) die Interpretationsaussichten in Abhängigkeit von der Jahreszeit zu ermitteln. Auf einer Reihe von jahreszeitlich verschiedenen Luftbildserien mit entsprechender Feldkartierung untersuchten wir alle vorkommenden Nutzungsarten (im ganzen etwa 6000 Felder) auf Grauton, Textur und Stereoeffekt. Alle Beobachtungen wurden unter zeitlichen Korrekturen in ein ideales phänologisches Schema, einem mittleren Jahr entsprechend, eingetragen. Die drei genannten Indikatoren erfuhren eine statistische Verarbeitung, was quantitative Aussagen über ihre Brauchbarkeit für die Identifikation von Nutzungstypen und damit auch über

die für die Interpretation günstigste Jahreszeit erlaubte. Die Grautöne aller kartierter Felder wurden auf den Negativen mit einem objektiven Densitometer gemessen und unter Eliminierung der die ursprünglichen Objekthelligkeiten modifizierenden Faktoren (Dunsteinfluß, Belichtung und Entwicklung des Films) in ein Schwärzungs-Idealschema umgerechnet. Die Felder mit typischen Texturen und mit Stereoeffekt wurden ausgezählt und die errechneten Prozentsätze auf einheitlichen Maßstab korrigiert. Schließlich kombinierten wir alle Resultate miteinander und stellten sie in Form von Erfolgsraten dar. Diese sagen aus, zu wieviel Prozent eine bestimmte Nutzungsart theoretisch von einer anderen unterscheidbar ist. Dieses Vorgehen gestattet uns, die Interpretationsmöglichkeiten entweder für das ganze Nutzungsspektrum oder aber nur für einzelne Kulturen anzugeben. Das Schlußergebnis zeigt, daß 1. eine Detailinterpretation (Erfassung aller Kulturarten, z. B. verschiedener Getreidesorten) bei einem mittleren Maßstab von 1:10 000 sehr schwierig ist, 2. die Separierung im allgemeinen nur bis zu Nutzungsklassen wie Wiesen, Getreide und Hackfrüchte gehen kann und 3. für eine allgemeine Interpretation der gesamten Nutzungsfläche die Zeit Mitte Mai am geeignetsten ist.

Summary

The season as a factor in interpretation of land use from panchromatic air photographs.

Two main methods can be applied for air photo interpretation of agricultural land use: a) Direct identification by means of indicators (physiognomic characteristics); b) Deduction of the land use type from natural connections between different elements of landscape (correlation). In the intensively cultivated areas of the temperate region the first method is as a rule the only one to rely upon. The interpretation is therefore essentially influenced by the seasons which change the aspect of the crops. The main goal of this investi-

gation is to evaluate the possibilities of interpretation according to the season taking into consideration a definite area in Central Europe (Swiss Plateau). We study gray tone, texture, and stereo effect of all land use types (a total of about 6000 lots) occurring on a series of air photo runs taken at different times of the year. All observations are compiled according to a phenological standard scheme which corresponds to the conditions of an average year. The three mentioned indicators are worked up statistically in order to give quantitative indications about their usefulness for the identification of crops and about the best

suited seasons for interpretation. We measure the gray tone of all mapped units on the negatives with an objective densitometer. The results are then transformed into ideal density values by eliminating the factors which modify the original brightnesses of the objects on the ground (haze effect, exposure and development of the film). The lots showing typical textures and stereo effect are counted and the computed percentages corrected on the base of a common scale. Finally, we combine all the results and represent them in form of success scores. They show what percentage of a

certain land use type is theoretically distinguishable from an other one. This method enables us to indicate the possibilities of interpretation either for the whole range of crops or only for selected types. The final result makes it clear that 1. a detailed interpretation (considering all different kinds of crop. e.g. different types of small grain) is very difficult at an average scale of 1:10 000; 2. the separation can generally reach only classes of land use such as meadows, small grains, and root crops; 3. the best suited season for a general interpretation is middle of May.

Résumé

La saison comme facteur dans l'interprétation de l'utilisation du sol sur des photographies aériennes panchromatiques.

Deux méthodes peuvent être employées en principe pour interpréter l'utilisation agraire du sol sur les photos aériennes : a) l'identification directe au moyen d'indicateurs (caractéristiques physiognomiques) ; b) par déduction, en tenant compte des relations naturelles entre les différents éléments du paysage (corrélation). Seule la première méthode peut en général être appliquée aux régions à cultures intenses dans la zone tempérée. L'interprétation est donc considérablement influencé par les saisons qui changent l'aspect des plantes. Le but principal du présent travail est d'évaluer les possibilités d'interprétation au cours des différentes saisons en prenant en considération une région définie de l'Europe centrale (le Plateau suisse). Nous étudions la teinte grise, la texture et l'effet stéréoscopique de tous les types d'utilisation du sol (au total environ 6000 parcelles) se présentant sur une série de photos aériennes prise à différents moments de l'année. Toutes les observations sont compilées selon un schéma standard phénologique qui correspond aux conditions d'une année normale. Les trois indicateurs mentionnés ci-dessus sont évalués statistiquement afin de donner des indications quantitatives quant à leur utilité pour

l'identification des cultures et quant aux moments les plus appropriés pour une interprétation. Nous mesurons sur le négatif à l'aide d'un densitomètre objectif la teinte grise de toutes les parcelles enregistrées au cours des travaux dans le terrain. Les résultats ensuite sont transformés en valeur de densité idéale grâce à l'élimination des facteurs modifiant la brillance originale des objets sur le sol (dispersion de lumière, exposition et développement du film). Les parcelles à texture typiques et à effet stéréoscopique sont comptées et le pourcentage obtenu corrigé sur la base d'une échelle commune. Finalement, nous assemblons tous les résultats sous la forme de diagrammes contenant le gain d'interprétation. On montre ainsi à quel pourcentage on arrive à distinguer théoriquement un certain type d'utilisation du sol d'un autre. Cette méthode nous permet d'indiquer les possibilités d'interprétation soit pour toute une série de cultures soit pour des types choisis. Le résultat final prouve clairement 1. qu'une interprétation détaillée (de toutes les plantes cultivées, p. e. de différentes sortes de céréales) est très difficile en se servant d'une échelle moyenne de 1:10 000 ; 2. qu'on ne parvient généralement qu'à une séparation des types d'utilisation peu détaillée, p. e. prés, céréales et plantes sarclées ; 3. que la période idéale pour une interprétation générale est vers mi-mai.

Literaturverzeichnis

PE = Photogrammetric Engineering

- Andreae, Bernd, 1959: Wirtschaftslehre des Ackerbaus. 274 p. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Angerer, E. von, 1956: Wissenschaftliche Photographie. 215 p. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.G., Leipzig.
- Arndt, Wilhelm, 1938: Praktische Lichttechnik. Hilfsbuch zur Anwendung der lichttechnischen Normen. Roth & Co., Berlin.
- Aschenbrenner, Claus M., 1941: Die Lichtverteilung in Luftbildern. Bildmessung und Luftbildwesen 1: 5–19.
- Aschenbrenner, Claus M., 1950: High altitude stereo techniques. PE 16 (5): 712–721.
- Aschenbrenner, Claus M., 1954: Problems in getting information into and out of air photographs. PE 20 (3): 398–401.
- Baumann, Hugo, 1957: Forstliche Luftbildinterpretation. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg Nr. 2, 109 p. Selbstverlag der Forstdirektion Südwürttemberg-Hohenzollern, Tübingen-Bebenhausen.
- Boesch, Hans und Steiner, Dieter, 1958: Interpretation of aerial photographs. Kontrakt mit US-Army No. DA-91-508-EUC-240, Final Report, 21 p. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Boesch, Hans und Steiner, Dieter, 1959: Interpretation of land utilization from aerial photographs. Kontrakt mit US-Army No. DA-91-591-EUC-975-OI-1093-59, Final Report, 69 p. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Bomberger, Elon H. und Dill, Henry W., Jr., 1960: Photo interpretation in agriculture. Manual of Photographic Interpretation: 561–632. American Society of Photogrammetry, Washington.
- Bonasera, Roberto, 1958: L'aerofotogrammetria e un saggio di carta agraria al 25 000 della Sicilia. Bolletino della Società Geografica Italiana 95: 369–371.
- Boon, D. A., 1960: Report of Working Group 4 (Interpretation of Vegetation). Commission VII, International Society of Photogrammetry. PE 26 (2): 283–302.
- Boon, D. A., Buringh, P., Revertera, C., Veenenbos, J. S., und Verstappen, H. Th., 1960: Principles of aerial photo-interpretation. Paper to the ECAFE-Seminar on Aerial Survey Methods and Equipment, Bangkok 1960, 6 p. ITC Delft.
- Born, Martin, 1960: Frühgeschichtliche und mittelalterliche Siedlungsrelikte im Luftbild. Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Heft 3: 9–16. Institut für Landeskunde, Bad Godesberg.
- Bourne, Ray, 1931: Regional survey and its relation to stocktaking of the agricultural and forest resources of the British Empire. Oxford Forestry Memoirs No. 13.
- Bourne, Ray, 1937: Aerial photographs of rural areas. Journal of the Ministry of Agriculture (Great Britain) 43 (10): 929–931.
- Brock, G. C., 1952: Physical aspects of air photography. 267 p. Longmans, Green & Co., London.
- Brunnschweiler, Dieter H., 1957: Seasonal changes of the agricultural pattern – a study in comparative airphoto interpretation. PE 23 (1): 131–139.
- Brunt, Martin, 1959: The Gambia land use and vegetation survey. Paper to the Third Inter-African Soils Conference, Dalaba 1959, 7 p. Directorate of Overseas Surveys, Tolworth.
- Buck, John Lossing, 1937: Land utilization in China. Bildband Kap. XIII: Aero photos of land utilization. Oxford University Press, London.
- Bullock, Paul, 1956: Atmospheric haze in aerial photography. PE 22 (5): 967–973.
- Buringh, P., 1954: The analysis and interpretation of aerial photographs in soil survey and land classification. Netherlands Journal of Agricultural Science 2 (1): 16–26.
- Buringh, P., 1958: Introduction to the use of aerial photographs in soil survey, land classification and soil conservation, 28. p. ITC Delft.
- Buringh, P., 1960: The applications of aerial photographs in soil surveys. Manual of Photographic Interpretation (Chapter 11, Appendix A): 633–666. American Society of Photogrammetry, Washington.
- Buringh, P., und Veenenbos, J. S., 1960: The application and cost of new photo-interpretation techniques in soil and land classification surveys. Paper to the ECAFE-Seminar on Aerial Survey Methods and Equipment, Bangkok 1960, 11 p. ITC Delft.
- Carol, Hans und Senn, Ulrich, 1950: Jura, Mittelland und Alpen, ihr Anteil an Fläche und Bevölkerung der Schweiz. Geographica Helvetica 5 (3): 129–136.
- Churchill, Ethan D. und Stitt, Richard L., 1955: Association analysis applied to the interpretation of aerial photographs. PE 21 (4): 598–602.
- Churchill, Ethan D., 1959: Problem analysis and the role of fundamental image extraction techniques. PE 25 (1): 54–58.
- Clark, Walter, 1946: Photography by infrared. Its principles and applications. New York.
- Cluff, Norman A., 1952: Aerial camera shutters. Manual of Photogrammetry: 177–196. American Society of Photogrammetry, Washington.
- Colonial Office, 1959: Land in British Honduras. Colonial Research Publication No. 24. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Colwell, Robert N., 1952a: Photographic interpretation for civil purposes. Manual of Photogrammetry: 535–602. American Society of Photogrammetry, Washington.
- Colwell, Robert N., 1952b: Report of Commission VII (Photographic Interpretation) to the International Society of Photogrammetry. Part. I: General. PE 18 (3): 375–400.
- Colwell, Robert N., 1954: A systematic analysis of some factors affecting photographic interpretation. PE 20 (3): 433–466.
- Colwell, Robert N., 1956: Determining the prevalence of certain cereal crop diseases by means of aerial photography. Hilgardia 26 (5): 223–286. University of California, Berkeley.
- Colwell, Robert N., 1960: Some uses and limitations of aerial color photography in agriculture. PE 26 (2): 220–222.

- Craig, Dwin R., 1955: Logetronics. PE 21 (4): 556–563.
- Craig, Dwin R., 1958: Logetronic strip printer model SP 10/70. PE 24 (5): 780–786.
- Crawford, O.G.S., 1924: Air survey and archaeology. Ordnance Survey Professional Papers, New Series No. 7, 39 p. Her Majesty's Stationery Office, London.
- Credner, Wilhelm, 1943: Die deutsche Agrarlandschaft im Kartenbild. Sitzungsberichte der Zusammenkunft europäischer Geographen in Würzburg 1942: 177–197. Leipzig.
- Dill, Henry W., Jr., 1955: Photo interpretation in flood control appraisal. PE 21 (1): 112–114.
- Dill, Henry W., Jr., 1957: Land clearing and drainage data from airphoto interpretation. Agricultural Economics Research 9 (3): 96–100. US Department of Agriculture and Cooperating Agencies.
- Dill, Henry W., Jr., 1958: Information on land from airphotos. The Yearbook of Agriculture 1958: 381–384. US Department of Agriculture, Washington.
- Dill, Henry W., Jr., 1959: Use of the comparison method in agricultural airphoto interpretation. PE 25 (1): 44–49.
- Duntley, S., 1948: Reduction of apparent contrast by the atmosphere. Journal of the Optical Society of America 38 (2): 179–191.
- Dürst, Arthur, 1958: Die technischen Grundlagen der Luftbildinterpretation. Diplomarbeit (Manuskript), 135 p. Geographisches Institut der Universität Zürich.
- Dürst, Arthur, 1959: Die Interpretation des Luftbildes. Camera 7: 28–33.
- Eardley, A.J. 1941: Aerial photographs. Their use and interpretation. 203 p. Harper & Brothers Publishers, New York/London.
- Eastman Kodak Co., 1953: Kodak materials for aerial photography. Kodak Publication M 4, Rochester.
- Eidgenössisches Statistisches Amt, 1959: IV. Eidgenössische Betriebszählung 25. August 1955. Band 1: Bodenbenützung in der Schweiz 1955. Statistische Quellenwerke der Schweiz, Heft 307. Bern.
- Elvegård, E. und Sjöstedt, G., 1940: The calculation of illumination from sun and sky. Illuminating Engineering 35 (April): 333 ff.
- Engel, Franz, 1941: Siedlungs- und Flurgeschichte. Luftbild und Luftbildmessung Nr. 22: 27–60, Hansa Luftbild GmbH, Berlin.
- Fels, Edwin, 1924: Das Fliegerbild in der Geographie. Geographische Zeitschrift 30: 18–28. Teubner, Leipzig/Berlin.
- Fenton, Wyllie E., 1951: Vegetation and agricultural activities as shown by aerial photographs. The Scottish Geographical Magazine 67 (2): 105–109.
- Fisher, R. A., 1937: Statistical methods for research workers. Oliver and Boyd, Edinburgh/London.
- Foster, Fred W., 1951: Some aspects of the field use of aerial photographs by geographers. PE 17 (5): 771–776.
- Gensler, Gian A., 1946: Der Begriff der Vegetationszeit. Dissertation, Universität Zürich.
- Gibbs, Carter und Husch, Bertram, 1956: Forest and land use trends from aerial photographs 1943–1953, Town of Madbury, New Hampshire. Forestry Mimeograph No. 3. University of New Hampshire, Department of Forestry, Durham.
- Goodale, E. R., 1953: An equation for approximating the vertical exaggeration ratio of a stereoscopic view. PE 19 (4): 607–616.
- Goodfellow, Margaret Joan, 1955: Seasonality as a factor in the use of aerial photographs for geographic purposes. M.A. Thesis (Manuskript). Clark University, Department of Geography, Worcester.
- Goodman, Marjorie Smith, 1954: The aerial photographic identification of farm crops in Northern Illinois. Doctoral Dissertation Series, Publication No. 9236, Northwestern University, Evanston (Ill.).
- Goodman, Marjorie Smith, 1959: A technique for the identification of farm crops on aerial photographs. PE 25 (1): 131–137.
- Gospodinow, G. W., 1960: Aerofotos-emočnyj metod v universitetskich geografičeskich issledovanijach (englische Zusammenfassung: The aerial photography method in geographical research in the universities). Geografičeskij fakul'tet: Metody geografičeskich issledovanij: 23–30. Gosudarstvennoe izdatel'stvo geografičeskoi literatury, Moskau.
- Hagen, Toni, 1950: Wissenschaftliche Luftbildinterpretation. Ein methodischer Versuch. Geographica Helvetica 5 (4): 209–276.
- Havemann, A., 1937: Die Luftbildaufnahme und die Erforschung der natürlichen Rohstoffquellen. Verlag der Akademie der Wissenschaften in der UdSSR, Moskau/Leningrad. Aus dem Russischen frei übersetzt von H. Walter (Posen) und H. Gams (Innsbruck/Bonn) unter teilweiser Verwendung einer Übersetzung des Auswärtigen Amtes 1944.
- Heath, Gordon R., 1955: An association method of regional photo interpretation. PE 21 (4): 589–598.
- Heissler, Viktor, 1954: Untersuchungen über den wirtschaftlich zweckmäßigsten Bildmaßstab bei Bildflügen mit Hochleistungsobjektiven. Wissenschaftliche Arbeiten der Institute für Geodäsie und Photogrammetrie der Technischen Hochschule Hannover Nr. 5, 36 p. (= Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 2–4, 1954).
- Hofstätter, Peter R., 1957: Psychologie. Das Fischer Lexikon Bd. 6. Fischer Bücherei K.G., Frankfurt a.M.
- Howe, G. Melvyn, 1951: A note on the application of air photography to the agricultural geography of north-west Cardiganshire. Geography 36 (171): 15–20.
- Hulburt, E. O., 1941: Optics of atmospheric haze. Journal of the Optical Society of America 31: 467–476.
- Hunting Technical Services Ltd., 1960: A pasture survey of Cyprus. HTS Report No. 3, 4 p. London.
- Ilford Limited, 1953: Ilford Hyperpan Aerial Film. Technical Information Sheet A 501. London.
- Jäger, Helmut, 1960: Das Luftbild im Dienst der historischen Landeskunde. Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Heft 3: 17–23. Institut für Landeskunde, Bad Godesberg.
- Johnson, Evert W., 1957: The limit of parallax perception. PE 23 (5): 933–935.
- Jones, L. A., und Condit, H. R., 1941: The brightness scale of exterior scenes and the computation of photographic exposure. Journal of the Optical Society of America 31 (11): 651–678.
- Karan, Pradyumna Prasad, 1960: A land use reconnaissance in Nepal by aero-field-techniques and photography. Proceedings of the American Philosophical Society 104 (2): 172–187.
- Kasper, Hugo, 1953: Der Lichtabfall bei Weitwinkelobjektiven. Wild Heerbrugg AG, Heerbrugg.
- Katz, Amron H., 1949: Camera shutters. Journal of the Optical Society of America 39 (1): 1–21.
- Kauter, Alfred, 1937: Die wichtigsten Wiesenunkräuter. Ihre Lebensentwikellichkeiten, Schädlichkeit und Bekämpfung. Zürich.
- Keegan, Harry J. und Schleter, John C., 1953: Use of reflection spectra for photo-interpretation purposes. PE 19 (1): 107.

- Keegan, Harry J., Schleter, John C., Hall, Wiley A., Jr. und Haas, Gladys M., 1956a: Spectrophotometric and colorimetric record of some leaves of trees, vegetation, and soil. National Bureau of Standards Report No. 4528, 162 p. US Department of Commerce, Washington.
- Keegan, Harry J., Schleter, John C., Hall, Wiley A., Jr. und Haas, Gladys M., 1956b: Spectrophotometric and colorimetric study of diseased and rust resisting cereal crops. National Bureau of Standards Report No. 4591, 128 p. US Department of Commerce, Washington.
- Kelsey, Ray A., 1955: Resolution experiments in contact printing through the film base. PE 21 (3): 344–348.
- Kessler, Otto, 1938: Zur Phänologie des Rheinlandes. Karten der Jahre 1934 und 1935. Wissenschaftliche Abhandlungen des Deutschen Reichsamtes für Wetterdienst Bd. 4, Nr. 3.
- Klapp, Ernst, 1941: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Paul Parey, Berlin.
- Kohn, Clyde F., 1952–54: An essay key for the photo identification of farm crops at several intervals during the growing season in northern Illinois. Part I–VII. Geographical Department, Northwestern University, Evanston (Ill.) Technical Report No. 3 (Kontrakt mit Geography Branch, Earth Sciences Division, Office of Naval Research, Navy Department).
- Krause, Werner, 1955: Pflanzensoziologische Luftbildauswertung. Angewandte Pflanzensoziologie Heft 10, 60 p. Zentralstelle für Vegetationskartierung, Stolzenau/Weser.
- Kulebakin, V. S., 1930: Über die Lichtreflexion von den Erddecken. Die Lichttechnik 7 (3): 25–29 (= Beiblatt zu Elektrotechnik und Maschinenbau 48).
- Kummer, Georg, 1953: Schaffhauser Volksbotanik. II. Die Kulturpflanzen (1. Teil). Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen auf das Jahr 1954, 142 p.
- Lambert, R.W., 1955: An account of recent attempts to improve air negative quality by processing control. PE 18 (4): 695–697.
- Lancie, R. de, Steen, W.W., Pippin, R.E. und Shapiro, A., 1957: Quantitative evaluation of photo interpretation keys. PE 23 (5): 858–864.
- Lay, Khin Ma, 1959: Land utilization of Sittang Valley (Burma). M.A. Thesis (Manuskript), 285 p. London School of Economics and Political Science (University of London).
- Lewis, George K., 1957: The concept of analogous area photo interpretation keys. PE 23 (5): 874–878.
- Linder, Arthur, 1957: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. 238 p. Birkhäuser, Basel.
- Linton, David L., 1952: Air photographs as the tools of geographical research. UGI Rapport de la Commission pour l'utilisation des photographies aériennes dans les études géographiques. Congrès International de Géographie, Washington, 1952: 17–28.
- Lommasson, T. und Waldo, C.E., 1954: Interpretation of aerial photographs for range and agricultural inventories. Archives Internationales de Photogrammétrie, tome XI, fasc. 3 (Actes du 7ième Congrès Internationale de Photogrammétrie, Washington 1952): 664–666. N.V. Uitgeverij «Argus», Amsterdam.
- Macdonald, Duncan E., 1952: A statistical approach to the evaluation of photographic quality. PE 18 (3): 472–480.
- Macdonald, Duncan E., 1953 a: Air Photography. Journal of the Optical Society of America 43 (4): 290–298.
- Macdonald, Duncan E., 1953 b: Interpretability. PE 19 (1): 102–107.
- Macfadden, Clifford H., 1949: Some preliminary notes on the use of the light airplane and 35 mm camera in geographic field research. Annals of the Association of American Geographers 39 (3): 188–200.
- Macfadden, Clifford H., 1952: The uses of aerial photography in geographic research. PE 18 (4): 732–737.
- Macfadden, Clifford H., 1958: Humid tropical vegetation research: by aero-field techniques and photography. Unesco–Humid Tropics Research: Study of Tropical Vegetation (Proceedings of the Kandy Symposium, Ceylon 1956): 93–98. Paris.
- Marschall, Franz, 1947: Die Goldhaferwiese (*Trisetetum flavescens*) der Schweiz. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz, Heft 26, 168 p. Bern.
- Maruyasu, Takakazu, und Nishio, Motomitsu, 1960a: Experimental studies on color aerial photographs in Japan. Report of the Institute of Industrial Science (University of Tokyo) 8 (6): 270–293.
- Maruyasu, Takakazu, und Nishio, Motomitsu, 1960b: On the study and application of infrared aerial photography. Report of the Institute of Industrial Science (University of Tokyo) 10 (1): 1–16.
- Mason, Bert, 1953: The hotspot in wide-angle photographs. PE 19 (4): 619–626.
- Mead, W. R., 1954: Ridge and furrow in Buckinghamshire. Geographical Journal 120 (1): 34–42.
- Mees, D.E. Kenneth, 1946: The theory of the photographic process. Macmillan Co., New York.
- Meynen, E., 1959: Interprétation géographique des photographies aériennes. Compte rendu de la deuxième Conférence Cartographique Régionale des Nations-Unies pour l'Asie et l'Extrême-Orient, Tokio 1958: 137–139. Institut Géographique National, Paris.
- Middleton, W.E. Knowles, 1950: The attenuation of contrast by the atmosphere. PE 16 (5): 663–673.
- Miller, R.G., 1960: The interpretation of tropical vegetation and crops on aerial photographs. Invited paper to Commission VII, 9th International Congress of Photogrammetry, London 1960. Photogrammetria 16 (3): 232–240.
- Miller, Victor C., 1953: Some factors causing vertical exaggeration and slope distortion on aerial photographs. PE 19 (4): 592–607.
- Miroschnitschenko, W.P., 1960: Application of aeromethods for geographical explorations in the USSR. International Geographical Congress, Stockholm 1960: Abstracts of Papers: 202.
- Moessner, Karl E., 1955: A simple test for stereoscopic perception. PE 21 (3): 331–339.
- Müller-Miny, Heinrich, 1952: Natur und Kultur des Landes an der mittleren Warthe im Luftbild. Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Heft 1, 36 p. Amt für Landeskunde, Remagen.
- Müller-Miny, Heinrich, 1953: Geographisch-landeskundliche Luftbildauswertung. Geographisches Taschenbuch 1953: 489–498. Stuttgart.
- Näf, Albert und Grisch, A., 1936: Der Anbau der Feldfrüchte und Futterpflanzen. 214 p. Wirz & Co., Aarau.
- Neblette, C.B., 1927: Aerial photography for study of plant diseases. Photo Era Magazine 58: 346.
- Neblette, C.B., 1928: Airplane photography for plant disease surveys. Photo Era Magazine 59: 175.
- Nowicki, Albert L., 1952: Elements of stereoscopy. Manual of Photogrammetry: 521–533. American Society of Photogrammetry, Washington.

- Obst, Johannes, 1960: Veränderungen des Kulturlandes im oberen Vogelsberg im Spiegel des Luftbildes. Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Heft 3: 24–28. Institut für Landeskunde, Bad Godesberg.
- O'Neill, Hugh T., 1953: Keys for interpreting vegetation from air photographs. PE 19(3): 422–424.
- Packman, D.J. und Philpotts, L.E., 1955: Elementary agricultural air photo interpretation, with particular reference to eastern Canada. 103 p. Canada Department of Agriculture, Ottawa.
- Petrides, G.A., 1958: A land use map of Kenya. East African Agricultural Journal.
- Petrides, G.A., 1959: A land use map of Uganda. East African Agricultural Journal.
- Philpotts, L.E., 1957 a: The use of the aerial photo in the change of land use in southwestern Saskatchewan. 21 p. Canada Department of Agriculture, Ottawa.
- Philpotts, L.E., 1957 b: Air photo interpretation of land use in the central interior of British Columbia 1945 to 1955. 6 p. Canada Department of Agriculture, Ottawa.
- Purseglove, J.W., 1958: A note on the vegetation of humid tropics with special reference to Singapore. Unesco-Humid Tropics Research: Study of Tropical Vegetation (Proceedings of the Kandy Symposium, Ceylon 1956): 84–88. Paris.
- Raasveldt, Henri C., 1956: The stereomodel, how it is formed and deformed. PE 22(4): 708–727.
- Raup, Hugh H., 1950: Photo interpretation of the terrain along the southern part of the Alaska Highway. Geological Survey Bulletin 963-D: 95–133. Washington.
- Rawson, R. R. und Sealy, K.R., 1957: Air photographs and land utilization maps. Geography 42(195): 60–63.
- Regional Research Centre of the British Caribbean, 1958–60: Soil and land use surveys, No. 1–10. Imperial College of Tropical Agriculture, Trinidad.
- Reinhold, A., 1960: Arbeiten auf dem Gebiete der Luftbildinterpretation (Die photogrammetrische Tätigkeit in der Deutschen Demokratischen Republik). Vermessungstechnik 8(8): 225–227. Berlin.
- Robbins, C.R., 1934: Northern Rhodesia. An experiment in the classification of lands with the use of aerial photographs. Journal of Ecology 22: 88–105.
- Roeder, Helmuth, 1941: Das Auflösungsvermögen (Schärfendetail) bei den photographischen Aufnahmen. Berlin.
- Rogers, Earl J., 1953: A plan for research in fields of aerial photo interpretation. PE 19(5): 801–805.
- Rosayro, R.A. de, 1958: Tropical ecological studies in Ceylon. Unesco-Humid Tropics Research: Study of Tropical Vegetation (Proceedings of the Kandy Symposium, Ceylon 1956): 33–39. Paris.
- Roscoe, John, 1952: Photo interpretation keys. Proceedings 8th General Assembly and 17th International Congress of the International Geographic Union, Washington 1952: 142–143.
- Salzman, M. H., 1949: The factors in human vision applicable to photogrammetry. PE 15(4): 637–647.
- Samojlowitsch, G.G., 1953: Primenenie aviatsii i aerofotos-emki v lesnom chozjaistve (Anwendung der Aviation und Luftphotographie in der Forstwirtschaft). Moskau/Leningrad.
- Schmidt-Kraepelin, Ernst, 1958: Methodische Fortschritte der wissenschaftlichen Luftbildinterpretation. Erdkunde 12(2): 81–107.
- Schmidt-Kraepelin, Ernst, 1960: Methodische Fortschritte der wissenschaftlichen Luftbildinterpretation (3): VI. Luftbild und Bodenkunde. Erdkunde 14(2): 98–114.
- Schmiedt, G., 1960: Report from Italy. International Congress of Photogrammetry, London 1960, Supplementary Commission VII Report: 7–13.
- Schneider, Johann, 1954: Ein Beitrag zur Kenntnis des Arrhenateretum elatioris in pflanzensoziologischer und agronomischer Betrachtungsweise. Beiträge zur geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz, Heft 34, 102 p. Hans Huber, Bern.
- Schnyder, Arnold und Kauter, Alfred, 1943: Acker- und Futterbau. Buchverlag Verbandsdruckerei, Bern.
- Schulte, O.W., 1951: The use of panchromatic, infrared, and color aerial photography in the study of plant distribution. PE 17(5): 688–714.
- Schultze, Joachim H., 1943: Luftbildanwendung für Wirtschaftskarten. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 7/10: 383–384.
- Schumann, Hans-Joachim von, 1942: Das Luftbild im Dienste der Wirtschaftsgeographie. Zeitschrift für Erdkunde 10(4): 193–201. Frankfurt a. M.
- Schumann, Hans-Joachim von, 1943: Das Luftbild im Dienste der deutschen Landwirtschaftsgeographie. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 7/10: 374–379.
- Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, 1952–1959: Annalen 1951–1958 (Jg. 88–95).
- Schwedfsky, Kurt, 1954: Grundriß der Photogrammetrie. 282 p. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- Schwedfsky, Kurt, 1956: Zur Charakteristik der neuen Zeiss-Objektive für Luftaufnahmen. Bildmessung und Luftbildwesen, Sonderheft »Stockholm«: 3–15.
- Schwedfsky, Kurt, 1958: Der Informationsinhalt von Luftbildern und die optische Beobachtung aus Raketen und Satelliten. Naturwissenschaftliche Rundschau, Heft 4: 132 bis 138. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH., Stuttgart.
- Sewig, Rudolf, 1938: Handbuch der Lichttechnik. 2 Bde. Julius Springer, Berlin.
- Sfeir, E., Grappotte, M. und Mezher, B., 1960: La photogrammétrie au Liban. Rapport National pour le IX Congrès International de Photogrammétrie, London 1960.
- Simontacchi, Alexander, Choate, Grover A. und Bernstein, David A., 1955: Considerations in the preparation of keys to natural vegetation. PE 21(4): 582–588.
- Sisam, J.W.B., 1947: The use of aerial survey in forestry and agriculture. Imperial Agricultural Bureau Joint Publication No. 9, 59 p. Oxford und Aberystwyth.
- Smith, H.T.U., 1943: Aerial photographs and their application. 372 p. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Spartan Air Services Ltd., 1960: The application of aerial survey to problems of present and potential land use. 6 p. London.
- Spurr, Stephen H., 1948: Aerial photographs in forestry. 340 p. The Ronald Press Company, New York.
- Steiner, Dieter, 1956: Die Verwendung von Luftbildern bei wirtschaftsgeographischen Untersuchungen im alpinen Gebiet, dargestellt am Beispiel Heinzenberg (Graubünden). Diplomarbeit (Manuskript), 170 p., Geographisches Institut der Universität Zürich, 170 p.
- Steiner, Dieter, 1960 a: Die Frage der günstigsten Jahreszeit bei der Landnutzungsinterpretation auf panchromatischen Luftbildern. Paper für den 9. Internationalen Kongreß für Photogrammetrie, London 1960, 6 p. Geographisches Institut der Universität Zürich.

- Steiner, Dieter, 1960 b: Die Bedeutung der jahreszeitlichen Aspekte für die Landnutzungsinterpretation auf Luftbildern, gezeigt am Beispiel einer alpinen Agrarlandschaft (Heinzenberg, Graubünden/Schweiz). Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Heft 3: 51–55. Institut für Landeskunde, Bad Godesberg.
- Steinmetz, H. J., 1957: Vergleich farbiger und schwarz-weißer Luftaufnahmen auf dem Gebiet der Bodenkunde, Bodenerhaltung und Landschaftspflege. Bildmessung und Luftbildwesen (4): 116–118.
- Stone, Kirk H., 1951: Geographical air-photo interpretation. PE 17 (5): 754–759.
- Stone, Kirk H., Air photo interpretation procedures. PE 22 (1): 123–132.
- Tate, P.A., 1951: Illuminance in the focal plane of aerial cameras. PE 17 (1): 19–28.
- Taubenhaus, J.J., Ezekiel, Walter N. und Neblette, C.B., 1929: Airplane photography in the study of cotton root rot. Phytopath 19: 1025–1029.
- Tham, Percy, 1943: Die Verteilung der Belichtung und Schwärzung in Luftbildern. Zeitschrift für Vermessungswesen 1943: 210–216.
- Trapnell, C.G., 1952: The uses of aerial photographs in vegetation, soil, and land use surveys. A paper read to the Nairobi Scientific and Philosophical Society (Manuskript).
- Treece, Walter A., 1955: Estimation of vertical exaggeration in stereoscopic viewing of aerial photographs. PE 21 (4): 518–527.
- Tregear, Thomas R., 1958: Land use in Hong Kong and the New Territories. The World Land Use Survey, Monograph 1, 75 p. Geographical Publications Limited, Bude.
- Troll, Carl, 1939: Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin (7/8): 241–298.
- Troll, Carl, 1943 a: Methoden der Luftbildforschung. Sitzungsberichte der Zusammenkunft europäischer Geographen in Würzburg 1942: 121–146. Quelle und Meyer, Leipzig.
- Troll, Carl, 1943 b: Fortschritte der wissenschaftlichen Luftbildforschung. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin (7/10): 277–311.
- Tupper, J. L., Miller, H. A., Clark, Walter und Calhoun, J. M., 1952: Photographic materials and laboratory techniques. Manual of Photogrammetry: 271–308. American Society of Photogrammetry, Washington.
- Tupper, J. L., 1956: The influence of atmospheric haze on the quality of aerial photographs. PE 22 (5): 907–912.
- Uhlig, Harald, 1955: Luftbildauswertung zur Erforschung der Kulturlandschaft, dargestellt am Beispiel von Nordostengland. Deutscher Geographentag Essen 1953: 228–240.
- Uhlig, Harald, 1956: Die Kulturlandschaft. Methoden der Forschung und das Beispiel Nordostengland. Kölner Geographische Arbeiten, Heft 9/10, 355 p.
- Union Geographique Internationale, Commission on an Inventory of World Land Use, 1959: Report on the Meeting of 18th August 1956. Comptes Rendus du XVIIIe Congrès International de Géographie, Rio de Janeiro 1956, tome 1: 241–242.
- US Geological Survey, 1944 a: Photo interpretation of vegetation in the tropical pacific area and its use as an indicator of kind of ground. Engineering Notes No. 20, 115 p. Washington.
- US Geological Survey, 1944 b: Terrain features of riceland (paddies) with special reference to China. Engineering Notes No. 22, 24 p. Washington.
- US Naval Photographic Intelligence Center, 1945: Pacific landforms and vegetation. PIC Report No. 7. Washington.
- US Naval Photographic Interpretation Center, 1953: Aerial photographic interpretation of diseased and healthy cereal crops. Report No. 102–53, 10 p. Washington.
- Walker, F., 1956: Geography from the air. 111 p. Methuen, London.
- Wandersleb, Ernst, 1952: Die Lichtverteilung im Großen in der Brennebene des photographischen Objektivs. Scientia Photographica Bd. 2, 125 p. Berlin.
- Watson, Alfred J., 1958: The fluoro-dodge method for contrast control. PE 24 (4): 638–643.
- Weselowskij, N. N., 1958: Aerofototopografija (Luftphotogrammetrie). Moskau.
- West, J., 1945: Memorandum on “Cacao Aerial Survey”. Department of Agriculture, Nigeria.
- Westermann, J. H. und Zonneveld, J. I. S., 1956: Photo-geological observations and land capability and land use survey of the island of Bonaire (Netherlands Antilles). Koninklijk Instituut voor de Tropen, Mededeling No. 123, Afdeling Tropische Producten No. 47, 101 p. Amsterdam.
- Wirz & Co., 1958: Landwirtschaftliches Handbüchlein. Beilage zum Wirzkalender. Aarau.
- Young, Harold E., 1955: The need for quantitative evaluation of the photo interpretation system. PE 21 (5): 712–713.
- Zeiss Aerotopograph, 1957: Taschen-Stereoskop. Druckschrift Nr. ZA V/211 d/SP. München.
- Zonneveld, J. I. S., 1948: Teeras-foto's uit Midden-Limburg. Het spiedend oog der luchtcamera (= Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genotschap 65 [4+5]): 159–169. E. J. Brill, Leiden.
- Zonneveld, J. I. S., 1950: Surinaamse luchtfoto's. Centraal Bureau Luchtkaartering Paramaribo, Publ. No. 2, 9 p. (= Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genotschap 67 [2]: 235–243).
- Zonneveld, J. I. S., 1952: Luchtfoto-geografie in Suriname. Centraal Bureau Luchtkaartering Paramaribo, Publ. No. 8 (= De West-Indische Gids 33: 35–48, 's-Gravenhage).

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1	Phänologisches Schema für die tieferen Lagen des östlichen Mittellandes	nach 18
Abb. 2	Temperatur-Monatsmittel 1951–1958 für das östliche Mittelland (400–500 m ü. M.)	18
Abb. 3	Grautonreproduktionsdiagramm (n. Brock 1952)	nach 20
Abb. 4	Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion der Reflexionscharakteristik von reifem Getreide bei 60° Sonnenhöhe	nach 22
Abb. 5	Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion der Objektivcharakteristik (Kodak Aero Ektar 7") bei Blende 2,5	nach 22
Abb. 6	Theoretische Schwärzungsverteilung auf dem Negativ als Funktion von Reflexionscharakteristik und Objektivcharakteristik (Abb. 4 und 5 kombiniert)	23
Abb. 7	Feldeinteilung auf dem Negativ	25
Abb. 8	Schwärzungskurve für Winterweizen	nach 26
Abb. 9	Schwärzungskurve für Winterroggen	nach 26
Abb. 10	Schwärzungskurve für Wintergerste	nach 26
Abb. 11	Schwärzungskurve für Sommerweizen	nach 26
Abb. 12	Schwärzungskurve für Sommergerste	nach 26
Abb. 13	Schwärzungskurve für Hafer	nach 26
Abb. 14	Schwärzungskurve für Kartoffeln	nach 26
Abb. 15	Schwärzungskurve für Runkelrüben	nach 26
Abb. 16	Schwärzungskurve für Raps	nach 26
Abb. 17	Schwärzungskurve für Naturwiese	nach 26
Abb. 18	Schwärzungskurve für Kunstwiese	nach 26
Abb. 19	Die Erkennbarkeit der Kartoffelfurchentextur als Funktion des Maßstabes	nach 30
Abb. 20	Die Erkennbarkeit der Mähstreifentextur als Funktion des Maßstabes	nach 30
Abb. 21	Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen bei Getreide und Raps	nach 32
Abb. 22	Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen bei Hackfrüchten	nach 34
Abb. 23	Das jahreszeitliche Auftreten typischer Texturen bei Wiesen	nach 34
Abb. 24	Die Abhängigkeit der Stereoschwelle vom Maßstab beim verwendeten Photomaterial	39
Abb. 25	Das Auftreten des Stereoeffektes bei Getreide und Raps in Abhängigkeit von der Jahreszeit	nach 40
Abb. 26	Das Auftreten des Stereoeffektes bei Wiesen und Hackfrüchten in Abhängigkeit von der Jahreszeit	nach 40
Abb. 27	Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund des Grautons	nach 44
Abb. 28	Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund der Textur	nach 44
Abb. 29	Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund des Stereoeffektes	nach 44
Abb. 30	Die Unterscheidbarkeit von Getreide und Hackfrucht auf Grund der Kombination aus allen drei Indikatoren	nach 44
Abb. 31	Die günstigsten Jahreszeiten für die Landnutzungsinterpretation auf Stufe 1 und 2	nach 48
Abb. 32	Die günstigsten Jahreszeiten für die Landnutzungsinterpretation auf Stufe 3 und 4	nach 48

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Die wichtigsten Kulturen des schweizerischen Mittellandes	15
Tab. 2	Übersicht über das verwendete Photomaterial	16
Tab. 3	Technische Daten der verwendeten Luftbilder	16
Tab. 4	Phänologische Beobachtungen im tieferen östlichen Mittelland	17
Tab. 5	Reflexionswerte für verschiedene Objekte der Agrarlandschaft	20
Tab. 6	Luftlichthelligkeit in verschiedenen Flughöhen	21
Tab. 7	Schleier und Schatten auf dem verwendeten Filmmaterial	22
Tab. 8	Ideale Schwärzungswerte der Standardobjekte	26
Tab. 9	Das Auflösungsvermögen des verwendeten Photomaterials	30
Tab. 10	Daten für das zeitliche Auftreten charakteristischer Entwicklungszustände beim Getreide	32
Tab. 11	Die Stufen der Landnutzungsinterpretation	42
Tab. 12	Datumstabelle	71

Verzeichnis der Bilder mit erläuternden Skizzen

1.	Stereogramm aus der Gegend von Guntalingen (ZH)	57
2.	Stereogramm aus der Gegend von Waltalingen (ZH)	58
3.	Stereogramm aus der Gegend von Guntalingen (ZH)	59
4.	Stereogramm aus der Gegend von Waltalingen (ZH)	60
5.	Stereogramm vom unteren Lutherntal (LU) im Frühsommer	61
6.	Stereogramm vom mittleren Lutherntal (LU) im Frühsommer	62
7.	Stereogramm vom unteren Lutherntal im Hochsommer	63
8.	Stereogramm vom mittleren Lutherntal im Hochsommer	64
9.	Stereogramm aus dem Dorfwirtschaftsgebiet von Guntalingen	65
10.	Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im Mai	66
11.	Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im Juni	67
12.	Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im Juli	68
13.	Pfaffhausen, Gem. Fällanden, Kt. Zürich im August	69
14.	Typische Texturen	70

CURRICULUM VITAE

Am 21. September 1932 wurde ich, Dieter Steiner, als Bürger von Dürrenäsch (AG) in Menziken (AG) geboren. Ich besuchte Primar- und Bezirksschule in Menziken und Reinach (AG) und von 1948 bis 1952 die Kantonsschule in Aarau, die ich mit dem Maturitätszeugnis Typ B verließ. Im Sommersemester 1952 immatrikulierte ich mich an der Philosophischen Fakultät II der Universität Zürich, wo ich mich dem Studium der Geographie (Hauptfach) und der Nebenfächer Geologie, Zoologie, Botanik, Anthropologie und Mathematik widmete. Ich besuchte Vorlesungen und Praktika bei den folgenden Dozenten: Geographie: Prof. Dr. H. Boesch, Prof. Dr. K. Suter, Prof. Dr. W. U. Guyan, Dr. H. Carol, Dr. M. Schüepp, Dr. G. Furrer; Völkerkunde: Prof. Dr. A. Steinmann; Volkskunde: Prof. Dr. R. Weiss; Geologie: Prof. Dr. R. Staub, Prof. Dr. H. Suter, Prof. Dr. R. Trümpy; Zoologie: Prof. Dr. E. Hadorn, Prof. Dr. H. Steiner; Botanik: Prof. Dr. H. Wanner, Prof. Dr. A. U. Däniker, Prof. Dr. E. Schmid; Anthropologie: Prof. Dr. A. H. Schultz, Prof. Dr. G. Töndury, Prof. Dr. R. Oberholzer; Mathematik: Prof. Dr. B. L. Van der Waerden, Prof. Dr. J. Züllig; Chemie: Prof. Dr. P. Karrer; Physik: Prof. Dr. P. Scherrer (ETH); Photographie: Prof. Dr. J. Eggert (ETH); Pädagogik und Didaktik: Prof. Dr. M. Zollinger, Prof. Dr. E. Egli, Prof. Dr. H. Bernhard. Ich bestand die Diplom-Vorprüfungen 1953 (Zoologie und Anthropologie), resp. 1954 (Botanik und Mathematik) und die Diplom-Schlußprüfung für das höhere Lehramt (Geographie, Geologie, Didaktik) 1957. Von August 1955 bis Juni 1957 war ich Halbtagsassistent am Geographischen Institut der Universität Zürich. Im Spätsommer 1957 nahm ich an der Dänischen Ostgrönland-Expedition (Leitung: Dr. Lauge Koch) teil. Vom Herbst 1957 an arbeitete ich zwei Jahre am Geographischen Institut als Assistent im Rahmen eines mit der US Army in Frankfurt a.M. abgeschlossenen Kontraktes. Dabei hatte ich Gelegenheit, das Material für meine Dissertation zu sammeln, die unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Boesch entstand. Gegenwärtig bin ich am Geographischen Institut im Auftrag des Eidgenössischen Militärdepartementes auf dem Gebiet der Luftbildinterpretation tätig.

Dieter Steiner

